



RS Global

ISSN 2413-1032



# WORLD SCIENCE

Multidisciplinary Scientific Edition



RS Global

# WORLD SCIENCE

*No 1(41)*

*Vol.1, January 2019*

**DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws)**

Copies may be made only from legally acquired originals.

A single copy of one article per issue may be downloaded for personal use (non-commercial research or private study). Downloading or printing multiple copies is not permitted. Electronic Storage or Usage Permission of the Publisher is required to store or use electronically any material contained in this work, including any chapter or part of a chapter. Permission of the Publisher is required for all other derivative works, including compilations and translations. Except as outlined above, no part of this work may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means without prior written permission of the Publisher.

---

**Publisher –**  
RS Global Sp. z O.O.,

Scientific Educational Center  
Warsaw, Poland

Numer KRS: 0000672864  
REGON: 367026200  
NIP: 5213776394

**Publisher Office's address:**

Dolna 17, lok. A\_02  
Warsaw, Poland,  
00-773

**Website:** <https://ws-conference.com/>

**E-mail:** [rsglobal.poland@gmail.com](mailto:rsglobal.poland@gmail.com)

**Tel:** +4(857) 898 55 10

The authors are fully responsible for the facts mentioned in the articles. The opinions of the authors may not always coincide with the editorial boards point of view and impose no obligations on it.

**CHIEF EDITOR**

**Laputyn Roman** PhD in transport systems, Associate Professor, Department of Transport Systems and Road Safety, National Transport University, Ukraine

**EDITORIAL BOARD:**

**Nobanee Haitham** Associate Professor of Finance, Abu Dhabi University, United Arab Emirates

**Almazari Ahmad** Professor in Financial Management, King Saud University-Kingdom of Saudi Arabia, Saudi Arabia

**Lina Anastassova** Full Professor in Marketing, Burgas Free University, Bulgaria

**Mikiashvili Nino** Professor in Econometrics and Macroeconomics, Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Georgia

**Alkhalwaldeh Abdullah** Professor in Financial Philosophy, Hashemite University, Jordan

**Mendebaev Toktamys** Doctor of Technical Sciences, Professor, LLP "Scientific innovation center "Almas", Kazakhstan

**Yakovenko Nataliya** Professor, Doctor of Geography, Ivanovo State University, Shuya

**Mazbayev Ordenbek** Doctor of Geographical Sciences, Professor of Tourism, Eurasian National University named after L.N.Gumilev, Kazakhstan

**Sentyabrev Nikolay** Professor, Doctor of Sciences, Volgograd State Academy of Physical Education, Russia

**Ustenova Gulbaram** Director of Education Department of the Pharmacy, Doctor of Pharmaceutical Science, Kazakh National Medical University name of Asfendiyarov, Kazakhstan

**Harlamova Julia** Professor, Moscow State University of Railway Transport, Russia

**Kalinina Irina** Professor of Chair of Medicobiological Bases of Physical Culture and Sport, Dr. Sci.Biol., FGBOU VPO Sibirsky State University of Physical Culture and Sport, Russia

**Imangazinov Sagit** Director, Ph. D. Pavlodar affiliated branch "SMU of Semei city", Kazakhstan

**Dukhanina Irina** Professor of Finance and Investment Chair, Doctor of Sciences, Moscow State Medical Dental University by A. I. Evdokimov of the Ministry of health of the Russian Federation, Russian Federation

**Orehowskyi Wadym** Head of the Department of Social and Human Sciences, Economics and Law, Doctor of Historical Sciences, Chernivtsi Trade-Economic Institute Kyiv National Trade and Economic University, Ukraine

**Peshcherov Georgy** Professor, Moscow State Regional University, Russia

**Mustafin Muafik** Professor, Doctor of Veterinary Science, Kostanay State University named after A. Baitursynov

**Ovsyanik Olga** Professor, Doctor of Psychological Science, Moscow State Regional University, Russian Federation

**Kuzmenkov Sergey** Professor at the Department of Physics and Didactics of Physics, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Doctor of Pedagogic Sciences, Kherson State University

**Safarov Mahmatali** Doctor Technical Science, Professor Academician Academia Science Republic of Tajikistan, National Studies University "Moscow Power Institute" in Dushanbe

**Omarova Vera** Professor, Ph.D., Pavlodar State Pedagogical Institute, Kazakhstan

**Koziar Mykola** Head of the Department, Doctor of Pedagogical Sciences, National University of Water Management and Nature Resources Use, Ukraine

**Tatarintseva Nina** Professor, Southern Federal University, Russia

**Sidorovich Marina** Candidate of Biological Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Kherson State University

**Polyakova Victoria** Candidate of Pedagogical Sciences, Vladimir Regional Institute for Educational Development Name L. I. Novikova, Russia

**Issakova Sabira** Professor, Doctor of Philology, The Aktyubinsk regional state university of K. Zhubanov, Kazakhstan

**Kolesnikova Galina** Professor, Taganrog Institute of Management and Economics, Russia

**Utebaliyeva Gulnara** Doctor of Philological Science, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

**Uzilevsky Gennady** Dr. of Science, Ph.D., Russian Academy of National Economy under the President of the Russian Federation, Russian Federation

**Krokhmal Nataliia** Professor, Ph.D. in Philosophy, National Pedagogical Dragomanov University, Ukraine

**Chorny Oleksii** D.Sc. (Eng.), Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

**Pilipenko Oleg** Head of Machine Design Fundamentals Department, Doctor of Technical Sciences, Chernigiv National Technological University, Ukraine

**Nyyazbekova Kulanda** Candidate of pedagogical sciences, Kazakhstan

**Cheshmedzhieva Margarita** Doctor of Law, South-West University "Neofit Rilski", Bulgaria

**Svetlana Peneva** MD, dental prosthetics, Medical University - Varna, Bulgaria

**Rossikhin Vasily** Full dr., Doctor of Legal Sciences, National Law University named after Yaroslav the Wise, Ukraine

**Pikhtirova Alina** PhD in Veterinary science, Sumy national agrarian university, Ukraine

**Temirbekova Sulukhan** Dr. Sc. of Biology, Professor, Federal State Scientific Institution All-Russia Selection-Technological Institute of Horticulture and Nursery, Russian Federation

**CONTENTS****PHYSICS AND MATHEMATICS**

- Ganna Verovkina*  
INVESTIGATION OF THE APPROXIMATION OF CONTINUOUS PERIODIC FUNCTIONS  
ON THE TORUS..... 4

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

- O. V. Boiko, A. O. Boiadzhi, O. M. Korshak*  
STUDY OF STRESSED-DEFORMED STATE OF THE POLYGONAL ARCH COVERINGS  
OF WOOD..... 11

**ENGINEERING SCIENCES**

- Подрезов Ю. М., Романко П. М., Холякко В. В., Марченко Н. М.*  
ВПЛИВ УМОВ ІЗОТЕРМІЧНОГО ГАРТУВАННЯ НА ПСЕВДОПРУЖНУ ПОВЕДІНКУ  
БЕЙНІТНОГО ЧАВУНУ..... 15

- Нурланұлы А., Палов И., Стояк В. В., Давренбаева Н. А., Сираков К.*  
СПОСОБЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЛЮДЕЙ И ИХ ЗАСЕЛЕННОСТИ НА  
ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ..... 24

**CHEMISTRY**

- Садыгов Ф. М., Магеррамова З. Ю., Гаджиев Г. Н.,  
Гасан-заде Г. Г., Мамедова И. Г., Меликова Э. Т.*  
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОГО  
ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТЯЖЁЛОЙ СМОЛЫ.... 29

**ECOLOGY**

- Рибалова О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Макаров Є. О., Жук В. М.*  
ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ ДЛЯ БАСЕЙНУ РІЧКИ УДИ В МЕЖАХ  
ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ..... 36

## PHYSICS AND MATHEMATICS

**INVESTIGATION OF THE APPROXIMATION OF CONTINUOUS PERIODIC FUNCTIONS ON THE TORUS**

Ganna Verovkina, Associate Prof.

Ukraine, Kyiv, Department of Mathematical Physics, Taras Shevchenko National University of Kyiv

DOI: [https://doi.org/ 10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6291](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6291)

**ARTICLE INFO**

**Received:** 17 November 2018

**Accepted:** 25 January 2019

**Published:** 31 January 2019

**KEYWORDS**

approximation,  
continuous,  
periodic,  
difference equation,  
invariant torus.

**ABSTRACT**

Main purpose of the present work is development of qualitative theory of difference equations in the space of bounded numeric sequences.

Main result is the establishment of necessary conditions of the existence of invariant toroidal manifolds for countable systems of differential and difference equations. In order to solve this problem, observed spaces are constructed in a special way. Necessary conditions of the existence of invariant tori for countable systems of differential and difference equations are derived.

A concept of a continuous periodic in each variable function with period  $2\pi$ , values of which lie in  $l_2$ , is introduced. Spaces, in which observations are made, are constructed in a special way. A theorem on approximation of a function from the corresponding space by trigonometric polynomials is proven.

**Citation:** Ganna Verovkina. (2019) Investigation of the Approximation of Continuous Periodic Functions on the Torus. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6291

**Copyright:** © 2019 Ganna Verovkina. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Introduction.** Many problems of celestial mechanics, physics and engineering lead to the investigation of oscillations of systems described by systems of nonlinear ordinary differential equations, systems of equations in partial derivatives. The methods of studying periodic and quasiperiodic solutions of such systems are developed quite fully and are described in many fundamental writings [1, 2]. The development of technical sciences led towards an increasing interest in difference equations, which turned out to be a very convenient model for describing impulse and discrete dynamic systems, as well as systems that include digital computing devices [3]. Apart from that, difference equations arise during numerical solving of many classes of differential equations using the finite difference method.

The development of the theory of difference equations was largely due to the requirements of practical developments [4].

Wide use of numerical methods in solving differential equations, especially the finite difference method, led to the demand for a more in-depth study of difference equations.

Recently, a number of works appeared, in which new methods of qualitative analysis and construction of solutions of differential and difference equations emerging in the theory of nonlinear oscillations, are developed [5 – 7]. In connection with the new requirements of technical sciences, there is an urgent need for the construction of new methods for studying oscillatory processes and nonlinear systems.

Recently there is an increasing interest in problems related to systems of differential and difference equations in the space of bounded numeric sequences. Such systems are called counting systems. The main

attention of modern studies is paid to the distribution of the above-mentioned class of systems of results that take place for finite-dimensional systems of differential and difference equations [8, 9].

**Research.** Consider functional spaces  $C^r(\mathcal{T}_m, l_2)$ ,  $H^r(\mathcal{T}_m, l_2)$ .

Let  $f(\varphi) = \begin{pmatrix} f^1(\varphi) \\ \dots \\ f^n(\varphi) \\ \dots \end{pmatrix}$  be a function of a variable  $\varphi \in \mathcal{T}_m$ , which takes values in  $l_2$ ,

continuous and periodic in each variable  $\varphi_\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, m$ ) with period  $2\pi$ .

A set of such functions forms a linear space, which will be further denoted as  $C(\mathcal{T}_m, l_2)$ , where  $\mathcal{T}_m$  is a torus, which has the dimension  $m$ . This space transforms into a complete normed space by introduction of the following norm  $|f|_0 = \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \|f(\varphi)\|$ , where  $\|f\|^2 = \sum_{i=1}^{\infty} |f_i|^2$  is the norm of the function  $f(\varphi)$  in space  $l_2$ .

Denote a partial derivative of the function  $f(\varphi)$  of order  $\rho$  ( $\rho \geq 0$ ) with respect to  $\varphi_\alpha$  for any  $\alpha = 1, 2, \dots, m$  by

$$f^{(\rho)}(\varphi_\alpha) := \begin{pmatrix} f^{(1, \rho)}(\varphi_\alpha) \\ \dots \\ f^{(n, \rho)}(\varphi_\alpha) \\ \dots \end{pmatrix}$$

Consider  $f^{(\rho)}(\varphi_\alpha) \in l_2$ .

In  $C(\mathcal{T}_m, l_2)$  select a subspace  $C^r(\mathcal{T}_m, l_2)$  of those functions, which have their partial derivatives with respect to all  $\varphi_\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, m$ ) of order less or equal than  $r$ . The set  $C^r(\mathcal{T}_m, l_2)$  transforms into the complete normed space by introduction of the following norm

$$|f(\alpha)|_r = \max_{0 \leq \rho \leq r} |f^{(\rho)}(\varphi)|_0$$

where  $f^{(\rho)}$  is any partial derivative with respect  $\varphi_\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, m$ ) of order  $\rho$ .

Let  $P(\varphi)$  be a trigonometric polynomial in  $l_2$ , where  $\varphi \in \mathcal{T}_m$ , which means that

$$P(\varphi) = \begin{pmatrix} P^1(\varphi) \\ \dots \\ P^n(\varphi) \\ \dots \end{pmatrix} \in l_2, \varphi \in \mathcal{T}_m,$$

where  $P^n(\varphi)$  is a trigonometric polynomial in  $C(\mathcal{T}_m)$  - the space, studied in [10], for  $\forall n \geq 1$ , thus the resulting sum is

$$P^n(\varphi) = \sum_{\|k\| \leq N} P_k^n e^{i(k, \varphi)},$$

where  $k = (k_1, k_2, \dots, k_m)$  lies in the space  $\mathbf{Z}^m$ , elements of which are integers,

$(k, \varphi) = k_1 \varphi_1 + k_2 \varphi_2 + \dots + k_m \varphi_m$ ,  $P_k^n$  is a complex number,  $N$  any nonnegative integer.

The set of all polynomials with these properties forms a linear subspace, denoted by  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$ .

**Results of the Research.** The following theorem holds.

**Theorem 1.1.** Function  $f(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m, l_2)$  can be uniformly approximated by trigonometric polynomials, thus for  $\forall f(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m, l_2)$  there exists a sequence of trigonometric polynomials  $P_\nu$ ,  $\nu = 1, 2, \dots$ , such that the following equality is fulfilled

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \left| f(\varphi) - P_\nu(\varphi) \right|_0 = 0$$

for  $\forall \varphi \in \mathcal{T}_m$ .

*Proof:* Show that for  $\forall f(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m, l_2)$  and  $\forall \varepsilon > 0$ .

$\exists P(\varphi) \in \mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  such that the following relation holds

$$\left| f(\varphi) - P(\varphi) \right|_0 < \varepsilon. \tag{1}$$

Construct such polynomial  $P(\varphi)$ .

Since  $f(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m, l_2)$ , this implies  $\left| f(\varphi) \right|_0 < \infty$ , so there exists a number  $N$  such that

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} \left| f^n(\varphi) \right|^2 < \frac{\varepsilon}{2}, \text{ for } \forall \varphi \in \mathcal{T}_m.$$

Denote  $f_N(\varphi) = \begin{pmatrix} f^1(\varphi) \\ \dots \\ f^N(\varphi) \end{pmatrix}$ .

Clearly  $f_N(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m)$ , where  $C(\mathcal{T}_m)$  - is the space, studied in [10], as was indicated above.

By the Weierstrass theorem [1] there exists a trigonometric polynomial  $P_N(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m)$  such that

$$\max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \sum_{i=1}^N \left| f^i(\varphi) - P_N^i(\varphi) \right|^2 < \frac{\varepsilon}{2},$$

thus  $P_N(\varphi)$  uniformly approximates  $f_N(\varphi)$ .

Consider in the space  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  the following polynomial

$$P(\varphi) = \begin{pmatrix} P_N^1(\varphi) \\ \dots \\ P_N^N(\varphi) \\ 0 \\ \dots \end{pmatrix},$$

that is, first N coordinates of  $P(\varphi)$  correspond to the coordinates of  $P_N(\varphi)$  and all other coordinates are equal to 0. Clearly  $P(\varphi) \in \mathcal{P}(\mathcal{T}_m)$ .

Observe this norm:

$$\begin{aligned} \left|f(\varphi) - P(\varphi)\right|_0^2 &= \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \left\|f(\varphi) - P(\varphi)\right\|^2 = \\ &\leq \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \sum_{i=1}^{\infty} \left|f^i(\varphi) - P^i(\varphi)\right|^2 \leq \\ &\leq \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \left( \sum_{i=1}^N \left|f^i(\varphi) - P^i(\varphi)\right|^2 + \sum_{i=N+1}^{\infty} \left|f^i(\varphi)\right|^2 \right) \leq \\ &\leq \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \sum_{i=1}^N \left|f^i(\varphi) - P^i(\varphi)\right|^2 + \max_{\varphi \in \mathcal{T}_m} \sum_{i=N+1}^{\infty} \left|f^i(\varphi)\right|^2 \leq \\ &\leq \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2} = \varepsilon. \end{aligned}$$

By setting  $\varepsilon = \frac{1}{\nu}$  for  $\nu = 1, 2, \dots$ , find for each  $\varepsilon = \frac{1}{\nu}$  from previous considerations a trigonometric polynomial  $P_\nu(\varphi)$  which satisfies (1.1).

Thus we have constructed the sequence of trigonometric polynomials

$$P_\nu(\varphi), \nu = 1, 2, \dots,$$

which uniformly approximates an arbitrary function  $f(\varphi) \in C(\mathcal{T}_m, l_2)$  and the following equality holds

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \left|f(\varphi) - P_\nu(\varphi)\right|_0 = 0, \forall \varphi \in \mathcal{T}_m.$$

The proof is complete.

The theorem above implies that the space  $C(\mathcal{T}_m, l_2)$  is the closure in norm  $|\cdot|_0$  of the space of trigonometric polynomials  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$ .

Similar result takes place for the spaces  $C^r(\mathcal{T}_m, l_2)$ , where each of them is the closure in norm  $|\cdot|_r$  of the space of trigonometric polynomials  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$ .



In that way it is possible to create a chain of Banach spaces, embedded in one another, which means that

$$C(\tau_m, l_2) = C^0(\tau_m, l_2) \supset C^1(\tau_m, l_2) \supset \dots \supset C^r(\tau_m, l_2) \supset \dots \supset C^\infty(\tau_m, l_2) \tag{2}$$

where  $C^\infty(\tau_m, l_2) = \bigcap_{r=0}^\infty C^r(\tau_m, l_2)$  .

Further, for any two trigonometric polynomials in the space  $\mathcal{P}(\tau_m, l_2)$  of form

$$P = \sum_{\|k\| \leq N} P_k e^{i(k, \varphi)} ,$$

$$Q = \sum_{\|k\| \leq N} Q_k e^{i(k, \varphi)}$$

the scalar product  $(\dots)_0$  can be defined by setting

$$\begin{aligned} (P, Q)_0 &= \frac{1}{(2\pi)^m} \int_{\tau_m} \langle P, Q \rangle d\varphi_1 \dots d\varphi_m = \\ &= \sum_k \langle P_k, Q_{-k} \rangle , \end{aligned} \tag{3}$$

where  $\langle P_k, Q_{-k} \rangle = \sum_{j=1}^\infty P_k^j Q_{-k}^j$  is the ordinary scalar product of elements from  $l_2$

$$P_k = (P_k^1, P_k^2, \dots, P_k^n, \dots) ,$$

$$Q_{-k} = (Q_{-k}^1, Q_{-k}^2, \dots, Q_{-k}^n, \dots) .$$

The product (3) in  $\mathcal{P}(\tau_m, l_2)$  induces the norm  $\|\cdot\|_0$ , defined as follows

$$\begin{aligned} \|P\|_0^2 &= (P, P)_0 = \frac{1}{(2\pi)^m} \int_{\tau_m} \|P\|^2 d\varphi_1 \dots d\varphi_m = \\ &= \sum_{\|k\| \leq N} \|P_k\|^2 . \end{aligned}$$

By closing  $\mathcal{P}(\tau_m, l_2)$  in that norm the Hilbert space is obtained, which is denoted by

$H^0(\tau_m, l_2)$  . Elements of that space are rows  $\sum_{k \in \mathbf{Z}^m} f_k e^{i(k, \varphi)}$  , where the sum  $\sum_{k \in \mathbf{Z}^m} \|f_k\|^2$  is finite.

For polynomials  $P$  and  $Q$  for any nonnegative integer  $r$  the scalar product  $(\dots)_r$  can be defined by setting similarly to [11] the following

$$(P, Q)_r = \left( (1 - \Delta)^r P, Q \right)_0 =$$

$$= \sum_{\|k\| \leq N} (1 + \|k\|^2)^r \langle P_k, Q_{-k} \rangle, \tag{4}$$

where  $\Delta = \sum_{\nu=1}^m \frac{\partial^2}{\partial \varphi_\nu^2}$  is Laplace operator.

The product (3), (4) induces in the space  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  norm  $\|\cdot\|_r$ , defined as follows:

$$\|P\|_r^2 = (P, P)_r = \sum_{\|k\| \leq N} (1 + \|k\|^2)^r \|P_k\|^2.$$

By closing the space  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  in the norm above the Hilbert space  $H^r(\mathcal{T}_m, l_2)$  is obtained.

The elements of this space are rows  $\sum_{k \in \mathbf{Z}^m} f_k e^{i(k, \varphi)}$ , for which the sum

$$\sum_{k \in \mathbf{Z}^m} (1 + \|k\|^2)^r \|f_k\|^2 \text{ is finite.}$$

Starting from  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  we can construct the chain of Hilbert spaces

$$\begin{aligned} H(\mathcal{T}_m, l_2) &= H^0(\mathcal{T}_m, l_2) \supset H^1(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset \\ &\supset H^r(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset H^\infty(\mathcal{T}_m, l_2), \end{aligned} \tag{5}$$

$$\text{де } H^\infty(\mathcal{T}_m, l_2) = \bigcap_{r=0}^{\infty} H^r(\mathcal{T}_m, l_2).$$

Similar to the result in [10] we can show that the space  $H^r(\mathcal{T}_m, l_2)$  is identified with the Sobolev space  $\mathcal{L}_2(\mathcal{T}_m, l_2)$  of periodic in  $\varphi_\alpha$  ( $\alpha = 1, \dots, m$ ) with period  $2\pi$  functions, which have generalized derivatives with respect to  $\varphi$  of order  $r$  and less than  $r$ .

**Conclusions.** In the present work the concept of continuous periodic for each variable with period  $2\pi$  function, which has values in  $l_2$ , is introduced. The space of these functions with norm  $|\cdot|_0$  is denoted as  $C(\mathcal{T}_m, l_2)$ . Theorem 1.1 on the approximation of a function of the space  $C(\mathcal{T}_m, l_2)$  by trigonometric polynomials (1), which lie in the space  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$ , constructed in a special way, is proven. The chain of Banach spaces (2), embedded in one another with corresponding norms is constructed:

$$\begin{aligned} C(\mathcal{T}_m, l_2) &= C^0(\mathcal{T}_m, l_2) \supset C^1(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset \\ &\supset C^r(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset C^\infty(\mathcal{T}_m, l_2). \end{aligned}$$

Additionally the norm  $\|\cdot\|_0$  is introduced. Closure of the space  $\mathcal{P}(\mathcal{T}_m, l_2)$  in norm  $\|\cdot\|_0$  is Hilbert space  $H(\mathcal{T}_m, l_2)$ . Considering analogously, the chain of Hilbert spaces (5), embedded in one another with corresponding norms is obtained:

$$H(\mathcal{T}_m, l_2) = H^0(\mathcal{T}_m, l_2) \supset H^1(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset \\ \supset H^r(\mathcal{T}_m, l_2) \supset \dots \supset H^\infty(\mathcal{T}_m, l_2) .$$

#### REFERENCES

1. Akhiezer, N. I. (1965) Lectures on approximation theory. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации. Moscow, 407.
2. Bogolyubov, N. N., Mitropolsky, Yu. A. (1963) Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations. Moscow, 503.
3. Halanay, A., Wexler, D. (1971) The qualitative theory of impulse systems. Moscow, 309.
4. Teplinskii, Yu. V., Avdeyuk, P. I. (1991) Reduction of the problem of the existence of an invariant torus of an infinite differential system to a finite case // Ukr. Mat. Journal, 43(9), 1251-1255.
5. Martinyuk, D. I., Perestyuk, M. O. (1974) On the reducibility of linear systems of difference equations with quasiperiodic coefficients // Calculate. and Applied Maths, 23, 116-127.
6. Mitropolsky, Yu. A., Samoilenko, A. M., Martinyuk, D. I. (2012) Systems of Evolution Equations with Periodic and Quasiperiodic Coefficients. Vol. 87, Publisher Springer Science & Business Media, 280.
7. Samoilenko A. M., Teplinskii, Yu. V. (2011) Countable Systems of Differential Equations, Walter de Gruyter, 295.
8. Teplinskii, Yu. V., Samoilenko A. M. (1996) On periodic solutions of countable systems of difference equations // Ukr. Mat. Journal, 48(8), 1144-1152.
9. Verovkina, G. V. (1997) On the introduction of local coordinates for a counted discrete system in the neighborhood of an invariant torus // The Bulletin of the Kyiv University. Ser. fiz.-mat. Sciences, 4, 23-29.
10. Samoilenko, A. M. (1987) Elements of the mathematical theory of multifrequency oscillations. Invariant tori. Moscow, 120.
11. Schechter, M., John, F., Beres, L. (1966) Partial Differential Equations. Moscow, 351.

## ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

**STUDY OF STRESSED-DEFORMED STATE OF THE POLYGONAL ARCH COVERINGS OF WOOD**

*PG. O. V. Boiko,  
Phd. A. O. Boiadzhi,  
Phd. O. M. Korshak*

*Odessa state academy of civil engineering and architecture, Ukraine.*

**DOI:** [https://doi.org/ 10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6292](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6292)

**ARTICLE INFO**

**Received:** 21 November 2018  
**Accepted:** 22 January 2019  
**Published:** 31 January 2019

**KEYWORDS**

polygonal arch coverings,  
wooden I-beams,  
stress-strain state

**ABSTRACT**

In this work the use of wooden I-beams with OSB wall as the load bearing elements for polygonal arch coverings of buildings of various spans are considered. Special steel connecting pieces can shape the polygonal arch coverings. Calculations of the constructions with a span of 12 and 18 meters and an analysis of their stress-strain state are given.

**Citation:** O. V. Boiko, A. O. Boiadzhi, O. M. Korshak. (2019) Study of Stressed-Deformed State of the Polygonal Arch Coverings of Wood. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6292

**Copyright:** © 2019 **O. V. Boiko, A. O. Boiadzhi, O. M. Korshak**. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Introduction.** Currently it is observed a steady increase in the production of I-beam wooden beams (IWB) with a wall of OSB in Ukraine. It significantly has reduced the import of these products and has filled the domestic construction market with light and efficient designs of its own production. We should notice that composite beams with elements from the OSB board are increasingly used in the frameworks of low-rise buildings, as well as the quality of elements of coatings and ceilings in stone buildings. The ease and low cost of such constructions open up new areas of using them in construction [1].

**Analysis of recent researches and publications.** Analysis of the structural forms of composite beams, the features of their application in the building framework along with existing methods for calculating composite wooden beams, indicates that when certain requirements to IWB [2, 3], they can be used in polygonal arch coverings (Fig. 1) by span of 12-18 m.

**Determination of the purpose and objectives of the study.** The authors of the study have set a goal to identify and analyze the stress-strain state of polygonal arch structures with different versions of their structural elements.

**The main part of the study.** Calculation of two types of coverings: without supports for a 12 m of span (Fig. 1a) and with supports for 18 m, (Fig. 1b) showed that with the support of a polygonal arch without puffs on the walls of the building, the efforts of the stay brace are perceived by the walls of the building. The moments of flexion that arise in this case in the walls cause tensile forces on the inner sides of the cross sections of these walls. In order to perceive these forces, additional reinforcement must be selected in the reinforced concrete walls; in the brick walls such efforts are unacceptable. Thus, when using such structures, it is necessary to use stiffen-arched girders or to provide other solutions aimed at removing the action of the expansion on the walls [4].

The presence of load-bearing walls between the supports of the structure allows the installation of additional racks and to increase the rigidity of the structure or to ease it. Also, the additional racks can be installed on the gables of the building, if it is necessary [5, 6].

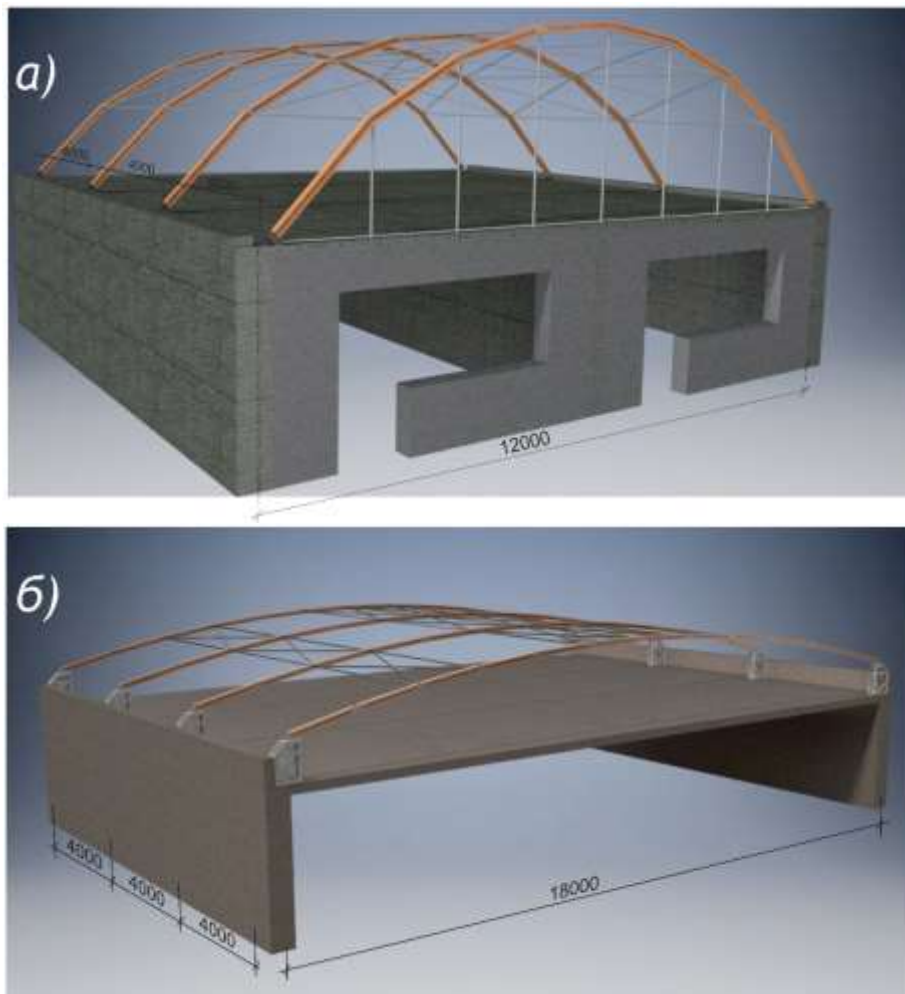


Fig.1. Polygonal vaulted coverings: a) by the span of 12 m; b) by the span of 18 m.

The considered polygonal coverings by the span of 12 m are made from wooden I-beams with an OSB-wall of the following sizes: beam height is 120 mm, belt height is 40 mm, belt width is 90 mm, wall thickness of OSB is 10 mm, length is 1400 mm and more, connected by paired metal plates [1]; when the span is increased to 18 m, the dimensions of the booms are preserved, and the height of the wall needs to be doubled to ensure the rigidity of the coating structure.

The most common structural form of a composite beam with elements from the OSB board is a beam with solid wood booms, in which the wall of the OSB board is pasted into a groove arranged in the girdle of the beam. The disadvantages of this design form are the need for special equipment for the device grooves and presses to withstand the structure of the beam for the period of drying glue [7].

In the laboratory of wooden structures of OSACEA, tests of composite wooden beams with a span of 2.4 meters of the following structural solution were carried out: a kefa-fiber beam with a flat wall pasted into the groove in shelves of solid wood (Fig. 2); Plywood beam with a flat wall and with belts of wooden bars glued to the sides of the wall; Plywood beam with a wall pasted into the groove in the shelves of glued wood; a composite beam with belts of wooden bars connected to the wall from the OSB on the screws. For the test composite wooden beams were calculated theoretical deflection and maximum load capacity, using existing normative method of calculation of State building standards.

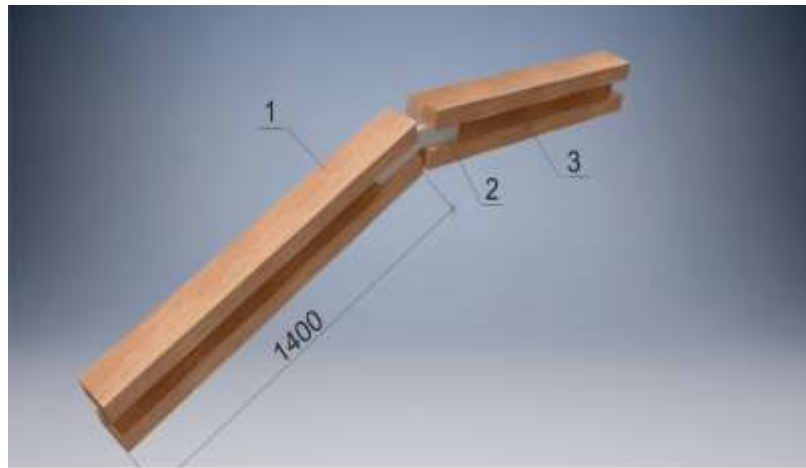


Fig.2 Wooden I-beams (IWB): a) beam; b) connection joints  
 1- shelf of the beam (90x40 mm); 2 - connecting element; 3-wall from OSB (10 mm)

The results of the numerical calculation are presented in the form of isopoles of stress distribution (Fig. 3) and displacements in the calculated beam model (Fig. 4). According to the type of stress distribution in the elements of the structure, the following can be said: normal stresses reach the maximum values of 1/4 span in the junction of the rectilinear structural elements and are close to the design tensile strength - compression of the OSB plate with a thickness of 10 mm and decrease to the middle of the span of the arch; the tangential stresses in the wall elements are 4-5 times lower than the normal stresses with a maximum on the supports and in the places where the load is applied.

For increase the strength of the walls from the OSB and to eliminate their brittle fracture, the walls were reinforced with thin metal grids.

**Conclusions.** The carried out theoretical, analytical and numerical studies have shown the possibility of using IWB with a wall from OSB in the construction of coatings not only of rectilinear, but also various polygonal outlines. Calculations have showed acceptable reserve factors for such structures.

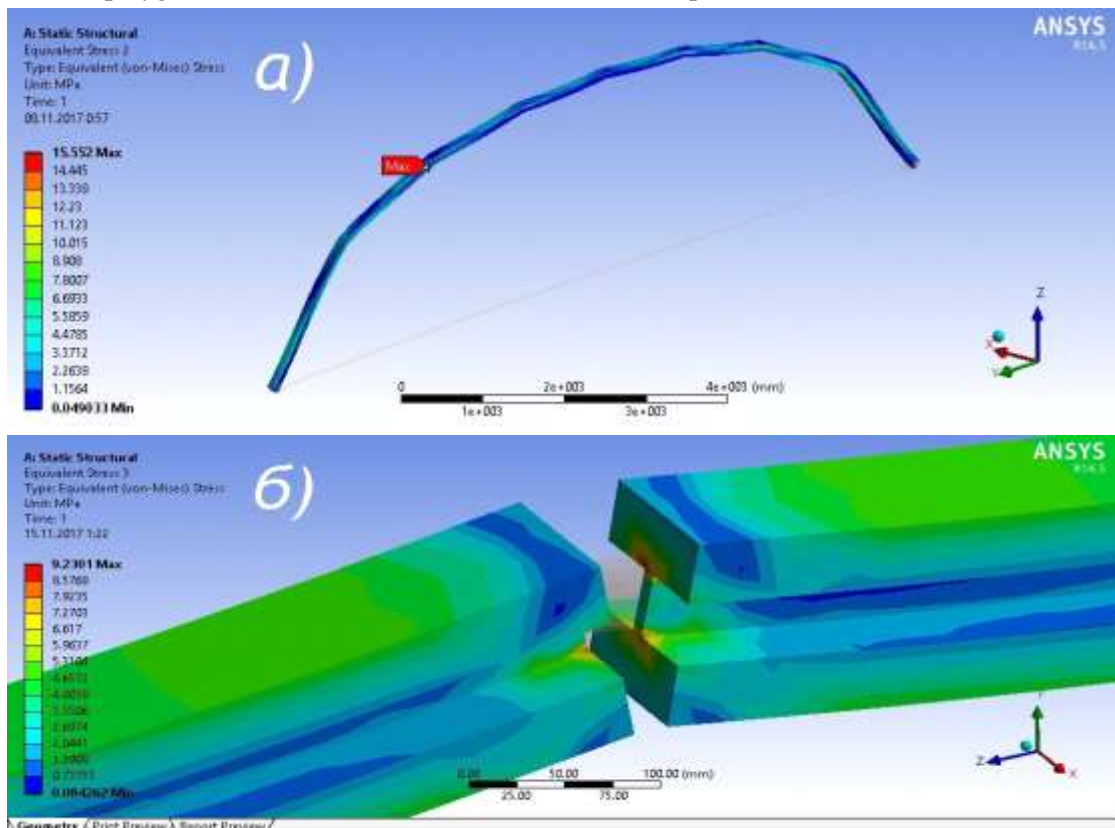


Fig. 3. Isopoles of equivalent stresses in wooden elements of arch structure by the span of 12 m  
 a) throughout the structure; b) in the most loaded joints

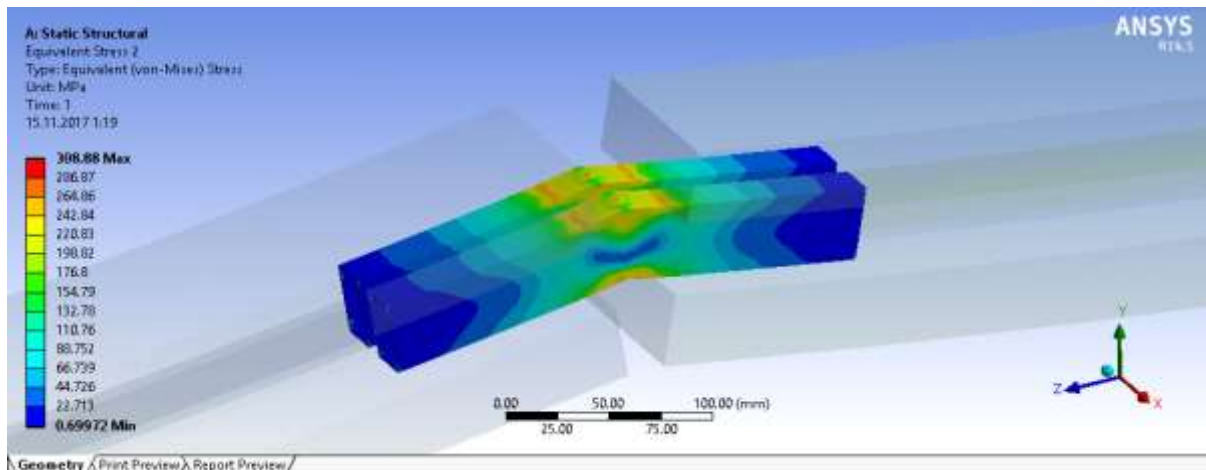


Fig. 4. Isolates of equivalent stresses in steel structural elements

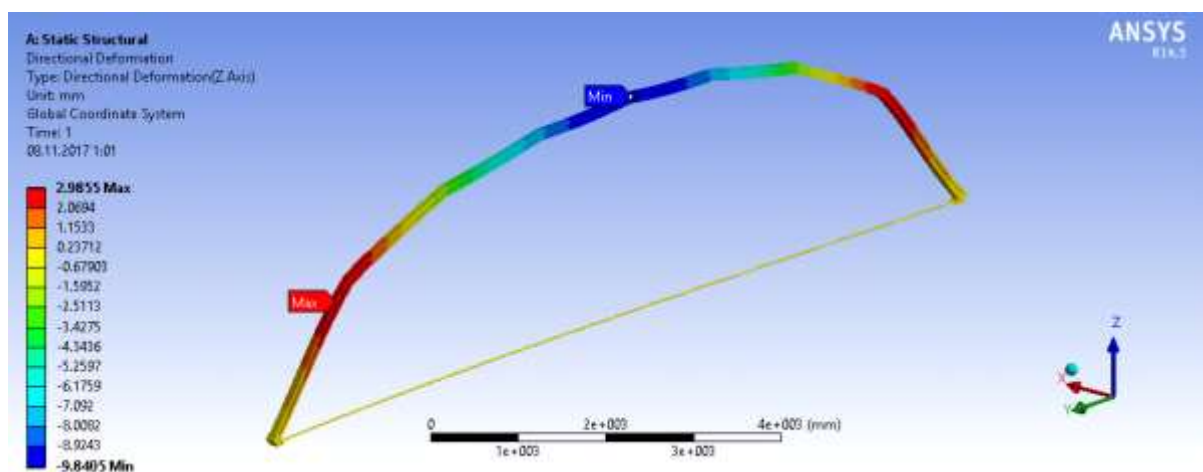


Fig. 5. Isolation of movement in an arched structure with a span of 12 m

To determine the actual stress-strain state of the structure, experimental studies of models of polygonal arch constructions are conducted in the laboratory of the Department of Metal, Wooden and Plastic Constructions of OSACEA.

## REFERENCES

1. Wooden I-beams with end-type nodes for the device of polygonal coverings of the cover 12 ... 18 m. / V. V. Stoyanov, O.M. Korshak, O. V. Boiko, A. V. Chuchmai. // Modern building constructions from metal and wood. - 2017. - №1. - P. 56-62.
2. Stoyanov V.V. The Endpoint of Two-Tone Wooden Beams » Mar 02, 2017 No. 5043/ 3A / 17 registration number of the application - 24701663 / V.V. Stoyanov, O.V. Boiko. // patent. - 2017
3. Stoyanov V.V. Double-beam beams with wooden belts and OSB wall / V.V. Stoyanov, O. M. Korshak. // Woodworking. - 2009. - №6. - P. 17-30.
4. Martynets D.V. Glued wooden constructions / D.V. Martynets. - Moscow: Cartographer, 1975. - 52 p.
5. Lomakin A. D. Glued wooden constructions in agricultural buildings / A. D. Lomakin, D. V. Martynets. - Moscow: Stroyizdat, 1982. - 103 p.
6. Kuznetsov I.L. Lightweight structures of arched buildings (Research, development, and implementation): diss. doc. tech Sciences: 05.23.01 / Kuznetsov Ivan Leonidovich - Kazan, 1995. - 310 p.
7. Rachera P. Effect of web stiffness on the bending behaviour of timber composite I-beams / P. Rachera, J. Bocquetb, A. Bouchaira. // Materials & Design. – 2007. – P. 844–849.

## ENGINEERING SCIENCES

**ВПЛИВ УМОВ ІЗОТЕРМІЧНОГО ГАРТУВАННЯ НА ПСЕВДОПРУЖНУ ПОВЕДІНКУ БЕЙНІТНОГО ЧАВУНУ**<sup>1</sup>*д.т.н., проф. Подрезов Ю. М.,*<sup>2</sup>*Романко П. М.,*<sup>3</sup>*к.т.н., доц. Холявко В. В.,*<sup>4</sup>*Марченко Н. М.**Україна, м. Київ, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України*<sup>1</sup>*завідувач відділом фазових перетворень,*<sup>2</sup>*м.н.с. відділу фізичного матеріалознавства легких сплавів,*<sup>4</sup>*м.н.с. відділу фазових перетворень.**Україна, м. Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»*<sup>3</sup>*доцент кафедри фізики металів*DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6293](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6293)**ARTICLE INFO****Received:** 09 November 2018**Accepted:** 14 January 2019**Published:** 31 January 2019**KEYWORDS**ADI cast iron,  
isothermal quenching,  
bainite structure,  
damping,  
pseudo-elastic twins,  
hardening,  
tendency to dampening**ABSTRACT**

Application of ductile cast iron ADI is feasible and cost-effective, provided that there is a clear understanding of the mechanisms for the formation of their high complex mechanical properties. The use of such materials for the production of variable parts of machinery, or in other units of automobile and machine building will significantly extend the life of the equipment. It is established that the level of mechanical characteristics of the ADI cast iron varies in full accordance with the theoretical concepts of the influence of the tempering temperature on the formation of mechanical properties of such materials. The previous plastic deformation does not affect the mechanism of formation of pseudo-elasticity. The tendency to dampening increases with an increase in the temperature of isothermal quenching. The damping behavior of a material is a consequence of the formation of pseudo-elastic twins in the structure of the transformed martensite.

**Citation:** Подрезов Ю. М., Романко П. М., Холявко В. В., Марченко Н. М. (2019) Vplyv Umov Izotermichnoho Hartuvannia na Pseudoprzhnu Povedinku Beinitnoho Chavunu. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6293

**Copyright:** © 2019 Подрезов Ю. М., Романко П. М., Холявко В. В., Марченко Н. М. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Вступ.** Високоміцний чавун з кулястою формою графіту (ВЧШГ) - матеріал нового покоління, який поєднує високу міцність і задовільну пластичність. Великий вклад у створення цього матеріалу в кінці минулого сторіччя внесли українські вчені професор К.І. Ващенко і його учні, які працювали в Київському політехнічному інституті та Інституті проблем матеріалознавства НАН України, а також дослідники Дніпропетровської металургійної академії під керівництвом академіка Ю.М.Тарана - Жовніра. Подальше вдосконалення цього матеріалу пов'язане з використанням спеціальної термічної обробки, яка отримала назву аустемперінга (austempering), а отриманий внаслідок такої обробки чавуну було названо ADI (austempering ductile iron). Ця термообробка полягає в ізотермічному гартуванні чавуну при температурах 280°C – 400°C, що



забезпечує формування бейнітної структури, зі значною кількістю залишкового аустеніту, який схильний до розпаду під дією пластичної деформації з утворенням мартенситної фази [1]. Таке перетворення сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей виробів, що працюють в умовах складного навантаження, зокрема змінних деталей землеоброблювальної техніки [2, 3].

ADI матеріали демонструють більш високий опір зношуванню завдяки зміцненню високовуглецевим аустенітом, який перетворюється в мартенсит, створюючи високоміцне середовище в приповерхневому шарі [1, 4], також високий опір втомі в порівнянні з іншими чавунами (сірим, метастабільним, високоміцним) [3, 5], високий опір динамічному навантаженню [1,6]. Такий комплекс властивостей забезпечує конкурентну спроможність високоміцних чавунів у порівнянні з іншими промисловими сталями. Температура ізотермічного гартування впливає на формування структури і, як наслідок, на механічні та службові характеристики ADI матеріалів. В попередніх роботах авторів [3, 7] було продемонстровано вплив температури гартування на характеристики зношування в умовах, наближених до параметрів експлуатації лоп культиваторів та лемішей плугів.

Враховуючи, що змінні елементи конструкцій культиваторів та плугів працюють при постійному динамічному навантаженні, ще однією важливою характеристикою, що впливає на їх працездатність, окрім міцності та зношування, є схильність до демпфування статичних та динамічних навантажень, що характерно для матеріалів, які демонструють мартенситне перетворення під дією пружної або пластичної деформації. Дослідженню параметрів демпфування ADI чавуну й присвячена дана робота.

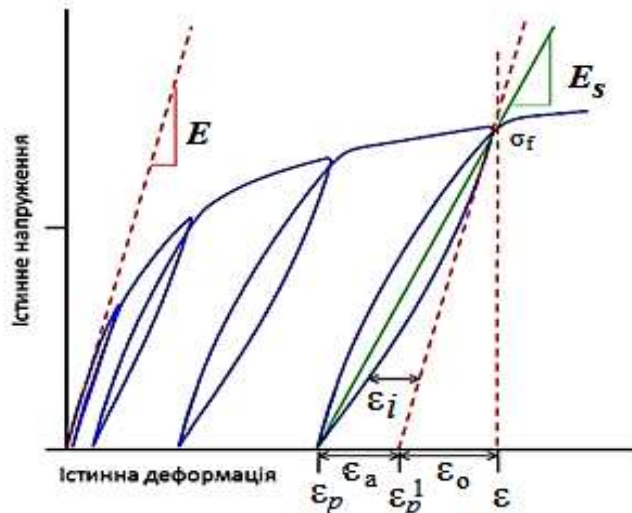
**Матеріали та методика досліджень.** В роботі досліджувався високоміцний чавун наступного складу: (3,2 ÷ 3,4) % C, (1,4 ÷ 1,6) % Si, (0,2 ÷ 0,3) % Mn, (0,01 ÷ 0,02) % Cr, 0,18 % Mo, 0,3 % Cu, 0,4 % Ni, 0,02 % P, S < 0,02 %. Куляста форма графіту була отримана за рахунок застосування модифікатору, який складався з 7,5 % Mg, 35 % СК25, 17 % Al, 9 % SiBa (20 Ba), 17,5 % Fe, 12 % модифікатору-флюсу «Рефтокон» та 9% РЗМ (ФС30РЗМ30). Модифікатори виготовлялись прокатуванням порошкових сумішей за технологією, яка описана в роботах [8, 9]. Бейнітна структура чавуну створювалась в результаті аустенізуючого відпалу при 880°C з витримкою протягом 40 хв та подальшого ізотермічного загартування в рідкому олові при температурах 280°C, 300°C та 340°C з витримкою протягом двох годин.

Оскільки динамічні навантаження в елементах конструкцій відбуваються з відносно малою частотою але при достатньо великих навантаженнях в роботі використано квазістатичний метод визначення схильності до демпфування [10]. Ця методика передбачає статичне випробування зразка на одновісний розтяг з пульсуючим циклом «навантаження – розвантаження» на різних ділянках кривої зміцнення та реєстрацією квазіпружних гістерезисних петель, площа яких характеризує здатність матеріалу розсіювати енергію. Запропонований метод є особливо цікавим для матеріалів, що демонструють мартенситне перетворення під час деформації, оскільки кількість мартенситу змінюється під час деформування та залежить від структурного стану матеріалу, який визначається температурою ізотермічного гартування.

В виконаних експериментах зразки для механічних випробувань мали форму циліндра з діаметром  $\varnothing 3$  мм і довжиною робочої частини  $l_0 = 15$  мм. Експерименти на розтяг виконувалися згідно стандарту ДСТУ EN10002 – 1:2006, зі швидкістю деформації  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$  на машині 1246-2300/2 конструкції НИКИМП. Видовження фіксувалося тензометричним датчиком безпосередньо з робочої частини зразка. Конструкція тензометра дозволяла вимірювати деформацію зразка при кімнатній та підвищених температурах з чутливістю за деформацією не гірше  $2 \cdot 10^{-5}$  та вимірювати модуль пружності з похибкою не більше 2 %.

Демпфуючу здатність матеріалу визначали з експериментів на розтяг методом вимірювання статичної петлі гістерезису [10]. Для отримання гістерезисної петлі, зразок після певної пластичної деформації повністю розвантажувався до  $\sigma = 0$  з такою ж швидкістю, як і при навантаженні, після чого повторно навантажувався з цією ж швидкістю. Ця операція повторювалась багаторазово при різних попередніх деформаціях. На рис. 1 схематично зображена деформаційна крива з гістерезисними петлями.

Враховуючи симетричний характер гістерезисної петлі, по кривим наведеним на рис. 1 достатньо просто розрахувати традиційні характеристики псевдопружності, які запропоновані в роботах [12 - 14]: псевдопружну деформацію  $\varepsilon_i$ , пружну деформацію  $\varepsilon_0$ , повну деформацію  $\varepsilon_a + \varepsilon_0$ , ефективний модуль Юнга  $E_s$ , та проводити порівняльний аналіз цих параметрів (рис. 2). Крім того, на лінійній ділянці кожної псевдопружної петлі можна визначити модуль пружності  $E$ , та прецизійну границю пружності ( $\sigma_{0,002}$ ), яка відповідає початку відхилення від класичної (лінійної) пружності.



$E$  — модуль пружності,  $\sigma_f$  — деформуюче напруження на початку розвантаження,  $\epsilon$  — повна деформація,  $\epsilon_p$  — істинна пластична деформація;  $\epsilon_i$  — псевдопружна деформація при розвантаженні;  $\epsilon_a$  — повна псевдопружна деформація;  $E_s$  — ефективний модуль Юнга.  
 Рис.1. Схематична деформаційна крива з гістерезисними петлями [11]

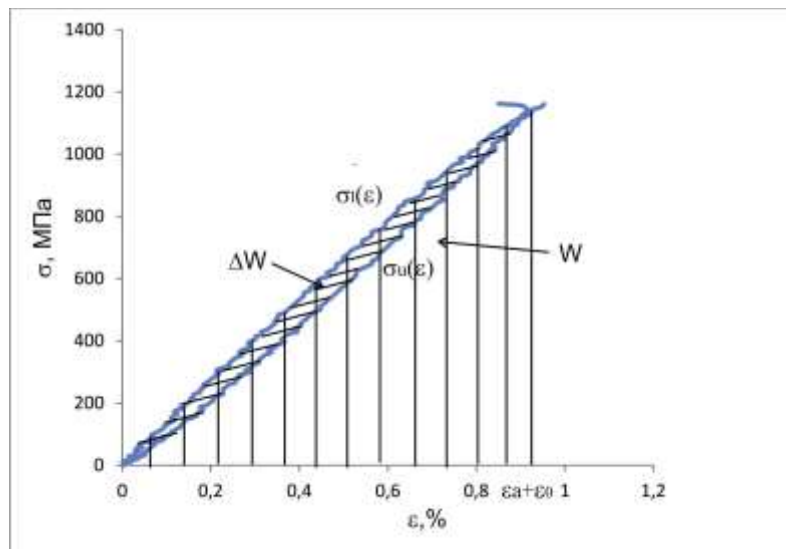


Рис.2. Розрахунок відносної здатності деформованого матеріалу накопичувати пружну енергію за рахунок пружного двійникування на прикладі чавуну, загартованого при 340 °С, та попередньої деформації  $\epsilon_p = 1,98 \%$ .

В разі утворення псевдопружних петель, які характеризують розсіяння енергії при деформації, схильність до демпфування може бути охарактеризована відносною здатністю деформованого матеріалу накопичувати пружну енергію за рахунок пружного двійникування, як відношення площі петлі до подвоєного амплітудного значення пружної енергії [10].

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{(\int_0^{\epsilon_a + \epsilon_0} \sigma_l(\epsilon) d\epsilon - \int_0^{\epsilon_a + \epsilon_0} \sigma_u(\epsilon) d\epsilon)}{\int_{\epsilon_a + \epsilon_0}^0 \sigma_l(\epsilon) d\epsilon}, \tag{1}$$

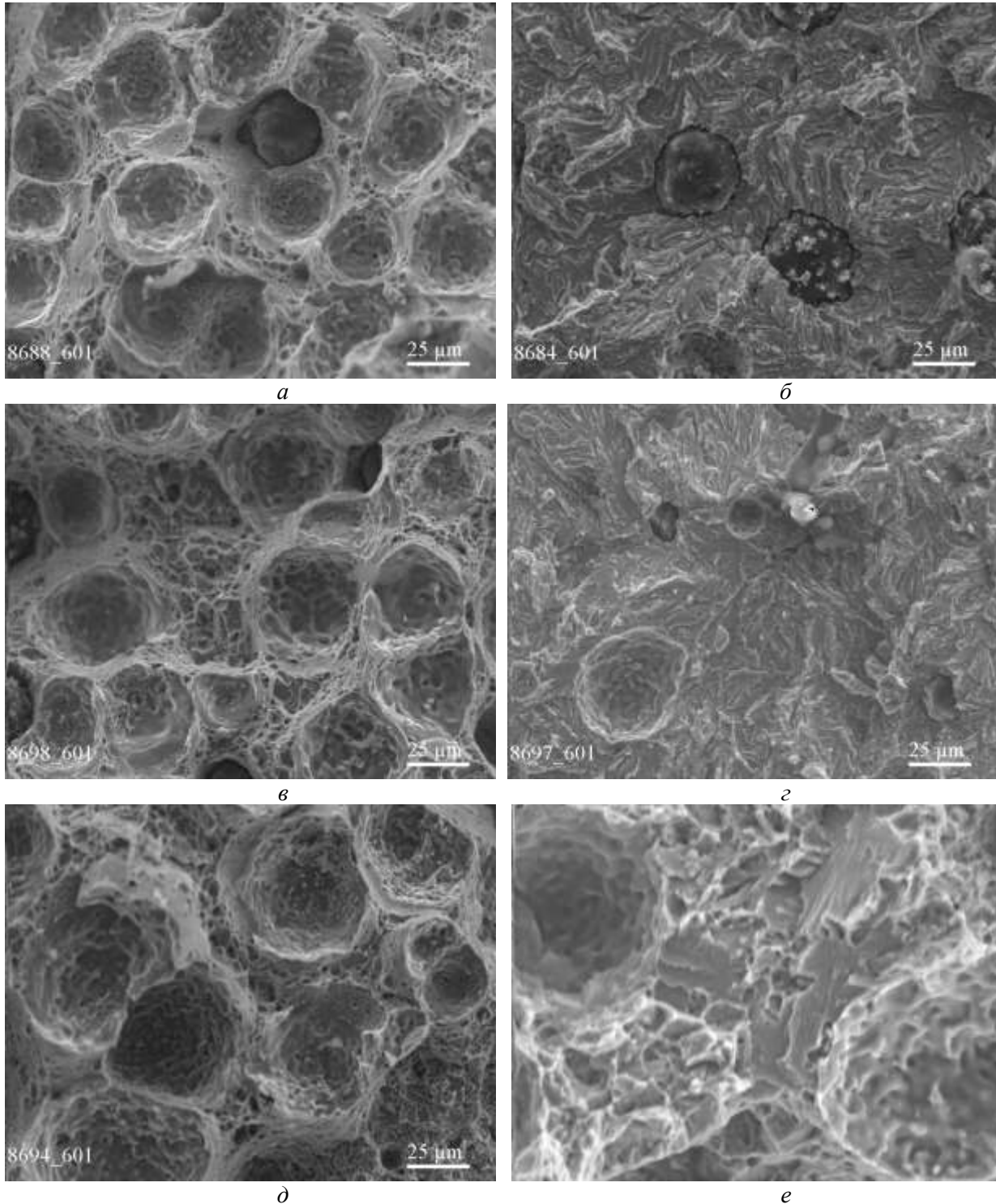
де:  $\Delta W$  — енергія затрачена на передвійникування;  $W$  — загальна питома пружна енергія, що накопичується матеріалом.

**Результати експериментів та їх обговорення.** Перед початком досліджень демпфуючих властивостей ADI чавуну було необхідно визначити рівень його базових механічних характеристик. В табл. 1 наведено результати статичних випробувань досліджених зразків на одновісний розтяг. Отримані результати знаходяться у повній відповідності до теоретичних уявлень про вплив температури гартування на формування механічних властивостей ADI чавуну [16, 17]: границя плинності зменшується зі збільшенням температури гартування, а пластичність збільшується.

Таблиця 1 – Механічні характеристики ADI чавуну

Температура ізотермічного гартування, $T_{it}$ , $^{\circ}\text{C}$	Границя плинності, $\sigma_{02}$ , МПа	Границя міцності, $\sigma_B$ , МПа	Пластична деформація, $\epsilon_{пл}$ , %	Модуль Юнга, $E$ , ГПа
280; 2 год	1129	1393	1,2	157
300; 2 год	1016	1178	1,3	151
340; 2 год	895	1090	2,9	149

Результати фрактографічного аналізу наведено на рис. 3.



*а* – 280  $^{\circ}\text{C}$ , ямкове руйнування; *б* – 280  $^{\circ}\text{C}$ , ділянки сколу; *в* – 300  $^{\circ}\text{C}$ , ямкове руйнування; *г* – 300  $^{\circ}\text{C}$ , ділянки сколу; *д* – 340  $^{\circ}\text{C}$ , ямкове руйнування; *е* – 340  $^{\circ}\text{C}$ , ділянки сколу.

Рис. 3. Поверхні руйнування ADI чавунів, ізотермічно загартованих при різних температурах

На поверхні руйнування всіх структурних станів переважає ямковий рельєф та видно частинки кулястого графіту. Але інколи зустрічаються ділянки, що руйнуються сколом, що вказує на наявність більш крихкого мартенситу. Кількість цих ділянок збільшується при підвищенні температури ізотермічної витримки. Такі структурні зміни пояснюються тим, що при більш високих температурах дифузійна рухливість атомів заліза вище, й процес перетворення  $\gamma \rightarrow \alpha$  на перших етапах іде активніше. Тим не менш, основною рушійною силою розпаду аустеніту є градієнт концентрації вуглецю в середині обох фаз. Чим глибше в  $\gamma$ -фазу проростають зерна  $\alpha$ -фази, тим меншим він стає на границі розподілу обох фаз, що уповільнює процес розпаду. Таким чином, ізотермічна витримка при температурах 300 °C – 340 °C призводить до збереження більшої кількості аустеніту, який при подальшій пластичній деформації перетворюється в крихкий мартенсит [16]. Цей результат співпадає з отриманими нами в попередніх роботах даними [18] про розпад залишкового аустеніту в мартенсит, в яких методами рентгенівських досліджень було показано, що саме середній бейніт демонструє найбільшу частку перетворень залишкового аустеніту в мартенсит під дією пластичної деформації.

На рис. 4 наведено деформаційні криві в координатах «напруження – деформація» з петлями гістерезису, які були отримані при дослідженні ADI чавуну, ізотермічно загартованого при різних температурах.

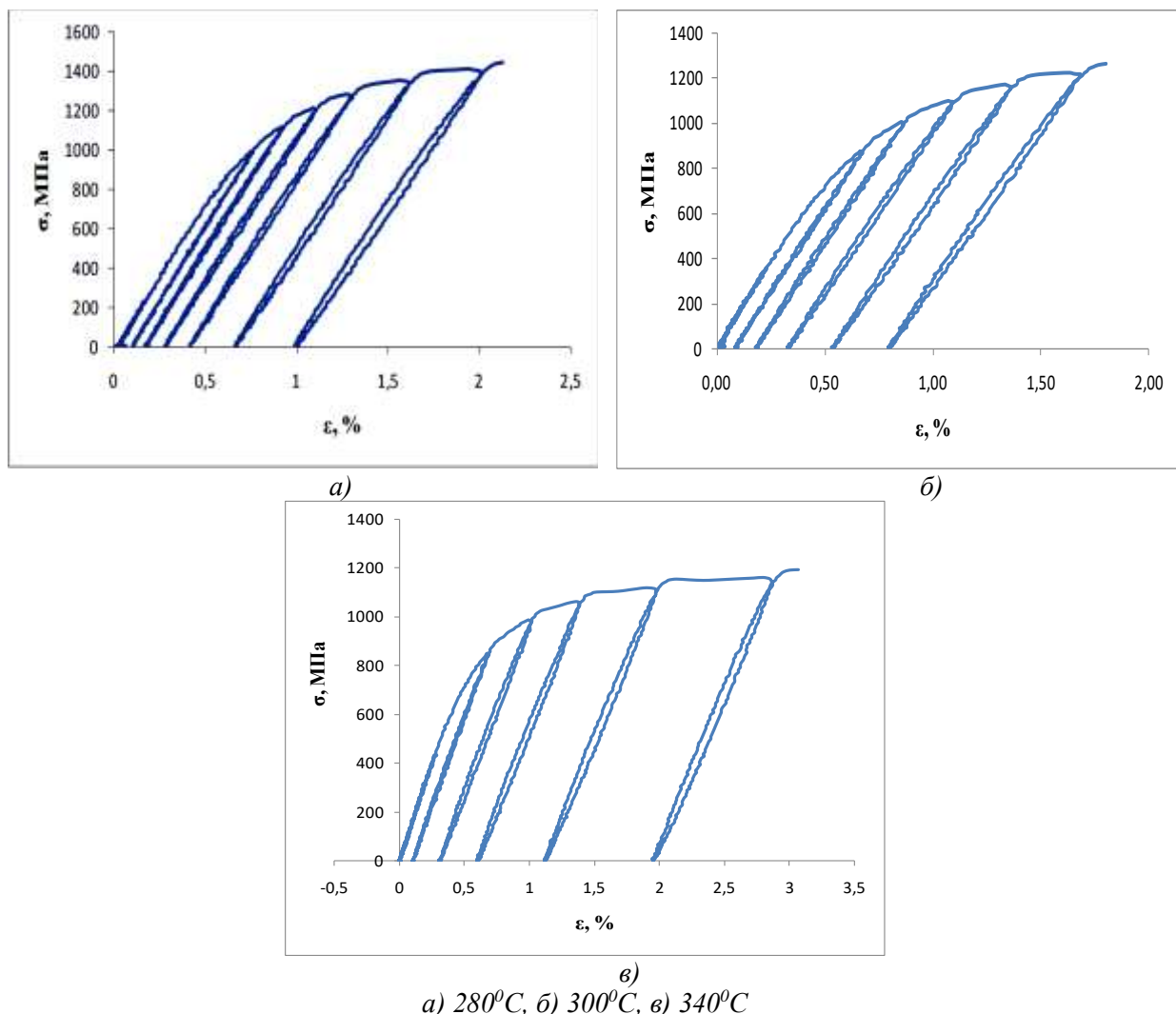


Рис. 4. Деформаційні криві з петлями гістерезису ADI чавуну, ізотермічно загартованого при різних температурах

У всіх трьох досліджених випадках простежується загальна закономірність: розмір петлі збільшується із зростанням ступеню попередньої пластичної деформації.

Розрахунок відносної здатності деформованого матеріалу накопичувати пружну енергію за формулою (1) демонструє змінність демпфуючої здатності ADI чавуну в залежності від ступеню деформації для різних температур гартування (див. рис. 5).

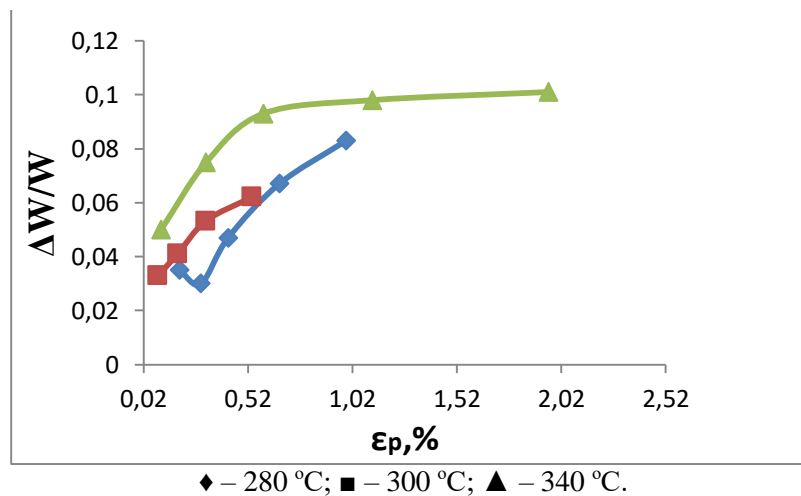


Рис. 5. Залежність параметру  $\Delta W/W$ , від ступеню попередньої деформації  $\epsilon_p$ , для ADI чавуну, загартованого при різних температурах

Результати експерименту показують, що у всіх випадках схильність до демпфування різко збільшується зі збільшенням ступеню деформації. При цьому ізотермічне загартування при температурах 280 °C та 300 °C, як зазначають автори [3], призводить до формування дрібнодисперсної структури нижнього бейніту. Саме тому схильність до демпфування цих зразків майже однакова. В той же час, ізотермічне гартування при температурі 340 °C сприяє формуванню середнього бейніту, який має менш дрібнодисперсну пластинчасту структуру та містить більшу кількість залишкового аустеніту, що підвищує схильність до демпфування, порівняно з нижнім бейнітом.

Для порівняння псевдопружності ADI чавуну при різних ступенях попередньої деформації, висхідні ділянки пружних петель переміщувались до нульового значення деформації без урахування попередньої пластичної складової. Розрахунок діаграм псевдопружності показує, що у всіх трьох досліджених випадках висхідна частина петель, які отримані після різних ступенів попередньої деформації практично співпадає. Відповідні криві наведено на рис.6.

Для прецизійного дослідження псевдопружної складової з отриманих діаграм спочатку була виділена ділянка повної, зворотної, пружної деформації. Для цього від сумарної деформації віднімалась пластична складова,  $(\epsilon - \epsilon_p)$  (рис. 1). Оскільки, пружна складова деформації зразка, значно перевищує псевдо пружну, для прецизійного дослідження зміни напруження в області псевдо пружності з отриманих діаграм  $\sigma - (\epsilon_a + \epsilon_0)$  псевдопружна складова виокремлювалась шляхом віднімання значення пружної деформації для кожного прикладеного напруження  $\sigma$ . Розраховані таким чином залежності  $\sigma(\epsilon_i)$  для зразка, загартованого при 340 °C, наведені на рис.6.

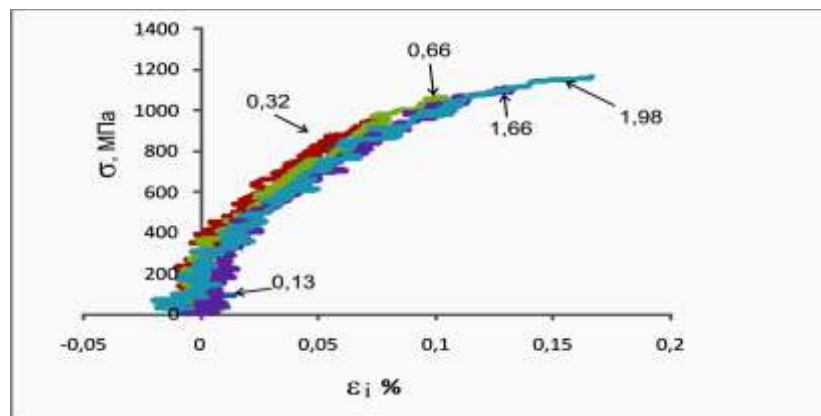


Рис.6. Виокремлена ділянка псевдопружної деформації для зразка, загартованого при 340 °C (біля кожної лінії вказано рівень попередньої пластичної деформації)

Певна розмитість кривих пов'язана з наближенням деформаційних параметрів до границі розрізнення випробувальної машини (датчика переміщення). Навіть в такому вигляді діаграми псевдопружності, отримані при різних ступенях пластичної деформації, практично співпадають, що свідчить про те, що величина попередньої пластичної деформації не впливає на характер кривих, а лише на остаточні значення напруження та величини псевдопружної деформації. Тобто деформаційні дефекти, що виникають при пластичній деформації не вносять додаткового впливу на механізм утворення псевдопружності.

Інша картина спостерігається, якщо порівнювати криві псевдопружності при однакових ступенях попередньої деформації в зразках, що були загартовані при різних температурах (рис. 7).

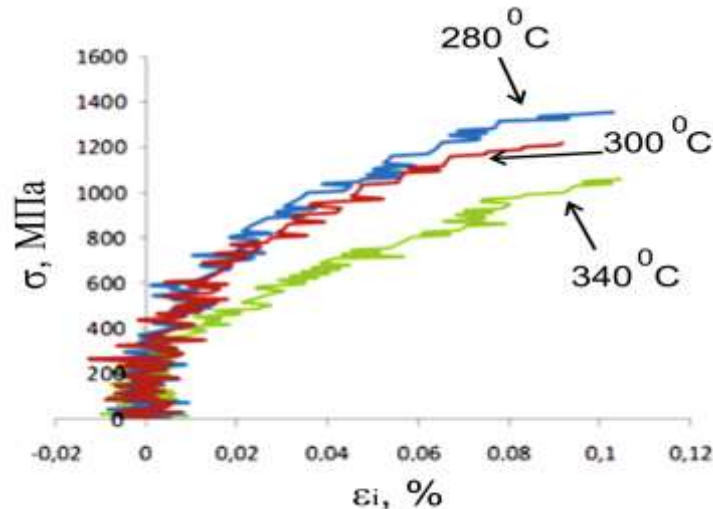


Рис.7. Виокремлені висхідні ділянки псевдопружних петель ADI чавуну, загартованого при різних температурах

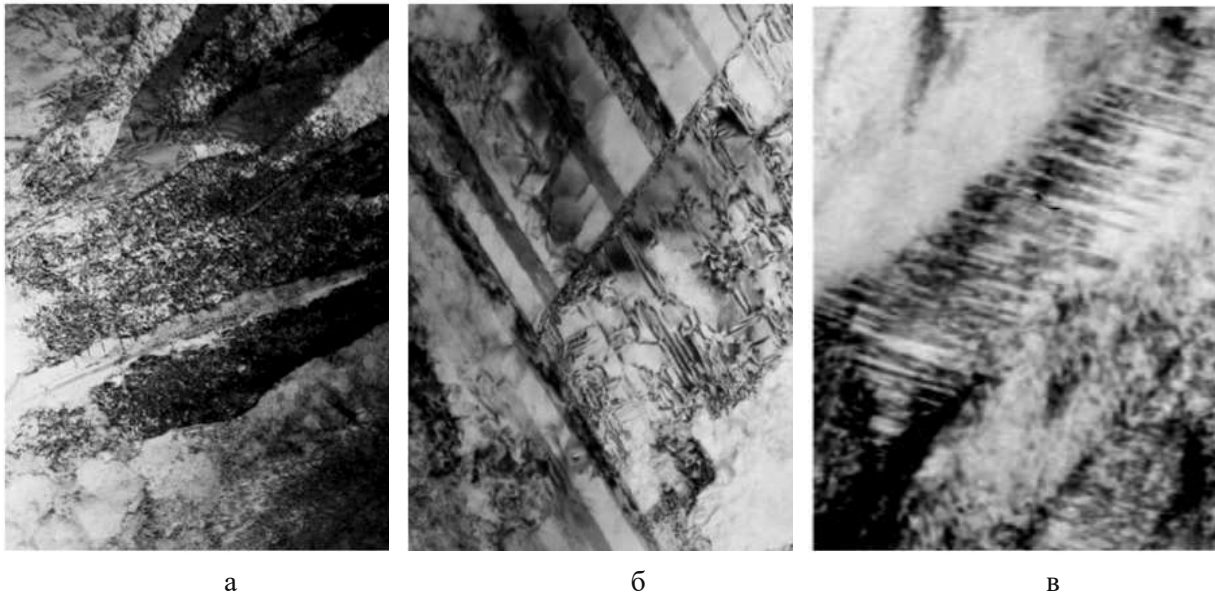
В цьому випадку характер кривих залежить від умов гартування. Зі збільшенням температури гартування значно зростає деформація, що відповідає однаковим значенням напруження. Своєрідне полегшення утворення петель в зразках загартованих при більш високих температурах можна пояснити покращенням умов утворення мартенситу під дією деформації, як це було показано нами вище та в попередніх роботах [7, 18]. В зразках підданих ізотермічному гартуванню при температурі 350°C в процесі деформації реалізується зсувний механізм росту мартенситної фази. У відповідності до сучасних уявлень про механізм псевдопружної поведінки матеріалів мартенситного класу [19], основною фізичною причиною, що визначає їх особливу механічну поведінку є утворення псевдопружних двійників, які компенсують неспівпадиння пружних полів, що виникають в наслідок різниці параметрів кристалічних ґраток аустеніту та мартенситу [20].

Механізм деформаційного зміцнення ADI чавуну пов'язаний з високою щільністю дислокаційних петель. Окрім значної щільності дислокацій, додаткове зміцнення створює двійникування, внаслідок якого формуються додаткові когерентні границі (див. рис. 8), які гальмують рух дислокацій, зміцнюючи матеріал [21, 22]. Процес двійникування стає можливим внаслідок виникнення високого ступеню спотвореності кристалічної ґратки протягом перетворення аустеніта в мартенсит.

**Висновки.** В результаті проведення комплексних досліджень встановлено, що:

1) Поверхня руйнування зразків має здебільшого ямкову структуру. Руйнування відбувається, в тому числі, й по поверхнях сфероїдизованих графітних включень, які забезпечують підвищену міцність чавуну. Кількість ділянок, що руйнуються сколом збільшується зі збільшенням температури гартування, що пояснюється збільшенням кількості мартенситу перетворення з ростом температури ізотермічного гартування.

2) Схильність до демпфування високоміцного чавуну різко збільшується зі збільшенням ступеню попередньої деформації. При цьому структура середнього бейніту має підвищену схильність до демпфування, порівняно з нижнім бейнітом.



а) феритні пластини ( $\times 22000$ ); б) аустенітні зерна з двійниковими дислокаціями ( $\times 35000$ );  
в) когерентні границі двійників всередині мартенситних пластин ( $\times 140000$ )

Рис. 8. Електронномікроскопічні зображення структури АДІ чавуну [21]

3) Попередня пластична деформація не впливає на механізм утворення псевдопружності. Полегшення утворення деформаційних петель в зразках, ізотермічно загартованих при більш високих температурах, пояснюється покращенням умов утворення мартенситу під дією деформації. Основною фізичною причиною, що визначає особливу механічну поведінку високоміцного чавуну з бейнітною структурою  $\epsilon \rightarrow \alpha'$  перетворення з одночасним утворенням псевдопружних двійників, які компенсують неспівпадіння пружних полів, що виникають в наслідок різниці параметрів кристалічних ґраток аустеніту та мартенситу.

4) Подальші дослідження АДІ чавуну будуть спрямовані на підтвердження саме двійникового механізму псевдопружності. Встановлення параметрів та кінетики двійникування дозволить розробити рекомендації щодо оптимальної технології виготовлення змінних деталей ґрунтооброблювальної техніки, а також ряду тонкостінних деталей автомобілів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Myszka D. Microstructure transformation during plastic deformation of the austempered ductile iron / D. Myszka, L. Olejnik, M. Káczyk // Archives of foundry engineering. – Issue 1/2009, Vol. 9. – PP. 169-174.
2. Brezina R. Application of ductile iron in the manufacture of ploughshares / R. Brezina, J. Filipek, J. Šenberger // Res. Agr. Eng. – 2004 (2), 50. – PP. 75–80.
3. Волощенко С.М. Особливості бейнітного високоміцного чавуну з огляду виробництва швидкозношуваних змінних деталей ґрунтообробної сільгосптехніки / С.М. Волощенко, К.О. Гогаєв, М.Г. Аскеров, Ю.М. Подрезов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017, №4. – С. 81-87
4. Гогаєв К.А. Влияние температуры и условий нагружения на характеристики износа бейнитного чугуна / К.А. Гогаєв, Ю.Н. Подрезов, С.М. Волощенко, К.С. Гринкевич, И.В. Ткаченко, М.В. Коваленко // Проблемы тертя та зношування. – 2017, № 3 (76). – С. 42-51.
5. Harding, R.A. The production, properties and automotive applications of austempered ductile iron // Metals and Materials. – 2007, 45(1). – PP. 1–16.
6. Mohammad Baba Zadeh Wear Characteristics of ADIs: A Comprehensive Review on Mechanisms and Effective Parameters / Mohammad Baba Zadeh, Hamid Pour Asiabi // J. Basic. Appl. Sci. Res. – 2013, 3(2). – PP. 646-656.
7. Voloschenko S. Wear Feature of Bainitic Cast Iron Used in Agricultural Machinery/ S. Voloschenko, Y. Podrezov, V. Kholyavko, M. Kovalenko // Металознавство та обробка металів. – 2017, № 3. – С.28 – 33.
8. Гогаєв К.А. Технологические принципы получения композиционных комплексных модификаторов методом прокатки порошковых смесей. Часть II. Условия компактирования структура и свойства модельных двухкомпонентных систем Fe-FeSi и Al-FeSi / К.А. Гогаєв, С.М. Волощенко, Ю.Н. Подрезов и др. // Порошковая металлургия. – 2016, № 7/8. – С. 52 – 59.

9. Гогаев К.А. Технологические принципы получения композиционных комплексных модификаторов методом прокатки порошковых смесей. Часть III. Методы получения и свойства многокомпонентных пресовок и прокатных полос из порошковых модификаторов разных составов./ К.А. Гогаев, С.М. Волощенко, Ю.Н. Подрезов и др. // Порошковая металлургия. – 2016, № 9/10.– С. 3 – 10.
10. Писаренко Г.С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наук.думка, 1971. – 375 с.
11. Nagarajan D. Anelastic Behavior of Mg-Al and Mg-Zn Solid Solutions / D. Nagarajan, X. Ren, C. H. Cáceres // Materials Science&Engineering. – 2017, A681. – P. 253–267.
12. Cáceres C.H. Pseudoelastic behaviour of cast magnesium AZ91 alloy under cyclic loading–unloading / C.H. Cáceres, T. Sumitomo, M. Veidt // Acta Materialia. –2003, 51. – P. 6211–6218.
13. Mann G.E. Reversible plastic strain during cyclic loading–unloading of Mg and Mg–Zn alloys / G.E. Mann, T. Sumitomo, C.H. Cáceres, J.R. Griffiths // Materials Science and Engineering. – 2007, A 456. – P. 138–146.
14. Molnar P. Reversible motion of twin boundaries in AZ31 alloy and new design of magnesium alloys as smart material / Peter Molnar, Andriy Ostapovets, Aleš Jager // Materials and Design. – 2014, 56. – P.509–516.
15. Малка О. М. Температурна чутливість псевдопружної поведінки в циклі навантаження – розвантаження Mg та сплаву Mg-9Al-0,2Ca-0,08Ti / О.М. Малка, П.М. Романко, Ю.М. Подрезов, К.О. Валуйська // Электронная микроскопия и прочность материалов. – 2016, вып.21. – С.98 – 109.
16. Найдек В.Л. Бейнитный высокопрочный чугун / В.Л. Найдек, В.П. Гаврилюк, И.Г. Неижко. – Киев: ФТИМС, 2008. – 140 с.
17. Garin J.L. Strain-induced martensite in ADI alloys / J.L. Garin, R.L. Mannheim // Journal of Materials Processing Technology. – 2003, no 143-144. – PP. 347-351.
18. Гогаев К.А. Влияние остаточного аустенита на механические свойства и характеристики износа бейнитного чугуна с шаровидным графитом // К.А. Гогаев, С.М. Волощенко, Ю.Н. Подрезов, Н.В. Минаков, Н.М. Марченко // Электронная микроскопия и прочность материалов. – 2016, вып.21. – С.38 – 50.
19. Otsuka K., Ren X. Physical metallurgy of Ti–Ni–based shape memory alloys / K. Otsuka, X. Ren // Progress in Materials Science. – 2005, V. 50. – PP. 511-678.
20. Косевич А. М. Дислокационная теория упругого двойникования кристаллов / А.М. Косевич, В. С. Бойко // УФН. – 1971, Т. 104, вып. 2. – С. 202-254.
21. Nofal A. Advances in the Metallurgy and Applications of ADI / Adel Nofal // Journal of Metallurgical Engineering. – 2013, Vol 2, Iss. 1. – P. 1-18.
22. Krzynska A. The Mystery of ADI / A. Krzynska and Kaczorowski M. // Archieves of Foundry Engineers. – 2007, vol.7, iss.4. – PP. 111-114.



# СПОСОБЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЛЮДЕЙ И ИХ ЗАСЕЛЕННОСТИ НА ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ

<sup>1</sup>докторант Нурланулы А.,

<sup>2</sup>д-р, проф. Палов И.,

<sup>1</sup>к.т.н., проф. Стояк В. В.,

<sup>3</sup>магистр Дауренбаева Н. А.,

<sup>2</sup>д-р, доц. Сираков К.

<sup>1</sup>Казахстан, г. Алматы, НАО Алматинский университет энергетики и связи,

<sup>2</sup>Болгария, г. Русе, Русенский университет,

<sup>3</sup>г. Алматы, Казахский Национальный Исследовательский Университет им. К.И. Сатпаева

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6294](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6294)

## ARTICLE INFO

**Received:** 24 November 2018

**Accepted:** 16 January 2019

**Published:** 31 January 2019

## KEYWORDS

heating,  
ventilation and air conditioning (HVAC),  
human behavior,  
energy modeling of buildings,  
occupancy,  
data collection technology.

## ABSTRACT

The article is devoted to the actual problem: the study of human behavior in the house and its role in the overall life of the building in the field of energy consumption. The authors of the work seeks to follow the process of behavior of tenants. The article an analysis of the views of researchers aimed at developing various approaches to obtaining and modeling information about the behavior of people in buildings. As a research task, the authors determined an attempt to assess the potential for energy saving from human behavior in residential and commercial buildings. The paper presents modern data collection technologies for research related to human behavior. The question of modeling building occupancy by developing a software module, which could model different levels of occupancy of a building with people will continue to be controversial. The article summarizes some results of the most dominant parameters of modeling human behavior.

As a result of the analysis, the authors identified basic moments and recommendations for future research.

**Citation:** Нурланулы А., Палов И., Стояк В. В., Дауренбаева Н. А., Сираков К. (2019) Sposoby Ucheta Vliyaniya Povedeniya Lyudej i ih Zaselennosti na Ehnergomodelirovanie Zdanij. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6294

**Copyright:** © 2019 Нурланулы А., Палов И., Стояк В. В., Дауренбаева Н. А., Сираков К. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Введение.** В последнее время наблюдается рост внимания научно-исследовательского сообщества на изучение вопросов поведения человека в доме и его роли в общей жизнедеятельности здания в области энергопотребления.

Поведение жильцов и обитателей здания напрямую влияют на энергопотребление и эффективность энергосберегающих технологий в здании. Данное влияние выражается в управлении устройствами и системами в здании, такими как открытие/закрытие окон, управление освещением, системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК) и др. К тому же, неопределенность, вызванная поведением жильцов, обуславливает существенное расхождение между прогнозируемым и фактическим потреблением энергии в здании.

Кроме того, при проектировании систем управления энергоснабжением зданий и моделировании тепловых балансов зданий зачастую статус жильца и его поведение принимают

детерминированным или статическим. Это также приводит к существенному расхождению между имитируемым и фактическим энергопотреблением. Большинство традиционных инженерных систем зданий функционирует на основе фиксированного графика работы и посещаемости людей, что чаще всего не соответствует реальному графику посещения и приводит к нарушению комфортных условий жизнедеятельности работников.

**Так, в работе** [1] приводится глубокий анализ поведения людей и их роли потребления энергии в здании, фокусирующийся на четырех критических темах исследования:

- 1) современное понимание поведение человека, в частности его принятие решений для открытия окон, управления освещением и ОВК;
- 2) методы и техники для сбора данных о жизнедеятельности здания;
- 3) количественное моделирование поведения людей в здании;
- 4) оценка потенциала энергосбережения путем анализа поведения людей.

По результатам исследований, авторы оценили потенциал энергосбережения от поведения человека от 10% до 25% в жилых зданиях и от 5% до 30% в коммерческих зданиях.

Существует большое количество исследований, направленных на разработку различных подходов к получению и моделированию информации о поведении обитателей в зданиях. Связанные с этим исследования начались с простого отслеживания статуса присутствия/отсутствия в помещениях или зданиях людей, а затем определения количества людей в определенном месте и в определенные периоды времени. Эта концепция часто упоминается как «заселенность здания», которую можно рассматривать как первый уровень моделирования поведения обитателей здания. Например, авторы работы [2] разработали модель прогнозирования заселенности здания, включающая в себя также прогноз продолжительности отсутствия и присутствия людей в здании. Модель основывается на методах неконтролируемой кластеризации (классификация событий на «отправление» и «прибытие») и Expectation-Maximization (EM) – алгоритмах (максимизация ожиданий). Авторы утверждают, что по результатам исследований и практическом применении разработанной модели на примере семьи (состоящей из 4 человек) точность прогнозирования составляет от 80% до 90 %, которое больше, чем выше объявленное (10...25) %.

Однако, информации о заселенности недостаточно для отражения взаимодействия между жильцами и зданием. Более того, иногда в литературе используются две терминологии «поведение жильцов» и «заселенность». Например, авторы [3] разработали алгоритм для изучения поведения жильцов, но в исследовании был смоделирован только статус присутствия людей. Авторы работы [4] утверждают, что их предлагаемый подход можно оценить, как поведение жильца влияет на потребление энергии, в то время как они фактически учитывают только количество жильцов с энергетическими расходами здания.

Моделирование поведения жильцов требует более детализированного и сложного подхода, чем определение заселенности здания [5]. С точки зрения поведения, жильцы в зданиях обычно ведут себя двумя способами: адаптация к внутренней среде и поведение между самими жильцами. Поведение, связанное с окружающей средой, может включать: включение/выключение освещения, открытие/закрытие окон или регулировку термостата, тогда как личное поведение заключается в изменении слоев одежды, позиций или жестов и т. д.

На рисунке 1 показаны современные технологии сбора данных для исследований, связанных с поведением человека. Примечательно, что, хотя технологии обеспечивают достаточное удобство для записи данных, наиболее важной задачей является определение ключевых параметров для измерения, чтобы избежать ненужного и избыточного сбора данных.



Рис. 1. Современные технологии сбора данных для моделирования поведения жильцов

**ПИР** (пенополиизоцианурат) – это полимер, родственный PUR (пенополиуретану или ППУ), имеющий закрытую ячеистую структуру (<http://ipsbel.by/pir.html>)

**(RFID – Radio Frequency Identification; РЧИ – радиочастотная идентификация)** – это технология бесконтактного обмена данными, основанная на использовании радиочастотного электромагнитного излучения. RFID применяется для автоматической идентификации и учета объектов. (<http://www.rst-invent.ru/faq/>)

#### Основные моменты и рекомендации для будущих исследований

На основе проведенного литературного исследования можно выделить следующие основные моменты и рекомендации для будущих исследований:

1. *Выбор и размещение датчиков для сбора данных о заселенности здания недостаточно изучены:* во многих исследованиях обычно измеряют такие параметры, как температура или концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе, в то время как следует учитывать другие факторы, связанные с поведением обитателей, к примеру, ориентация комнаты. С другой стороны, избыточное развертывание датчиков приводит к ненужным затратам и помехам при моделировании поведения обитателей здания. Кроме того, в офисном здании с несколькими жильцами местоположение установки датчиков также может повлиять на окончательную модель.

Полезно изучить наиболее доминирующие параметры моделирования поведения людей и проверить, могут ли распределения датчиков играть важную роль в моделировании.

2. *Отсутствие фактических данных, связанных с имитацией:* Многие научные исследования по моделированию поведения жильцов или потреблению энергии ограничены предположениями, а не реальными данными. Например, модель, предложенная Mengda Jia et.al [6] содержит параметры функции затрат, которые нуждаются в подтверждении реальными данными обследований. Кроме того, результаты моделирования следует сравнивать с измеренными данными, чтобы быть более убедительными, утверждая, что снижение энергии достигнуто.

3. *Краткосрочное и долгосрочное поведение жильцов:* анализ показывает, что подобно обнаружению заселенности здания, детальное поведение жильцов должно быть смоделировано двумя способами. Краткосрочная модель поведения жильцов относится к мгновенной корректировке систем здания согласно поведению жильцов и является основным фактором,

влияющим на потребление энергии. Возможность моделирования краткосрочного поведения жильцов может помочь инструментам энергомоделирования зданий уменьшить несоответствие между моделируемым и фактическим потреблением энергии. Долгосрочное поведение жильца отражает обычные модели или привычки жильца в здании, в отличие от краткосрочного поведения, которое может быть дополнительно применено к ОВК.

4. *Моделирование поведения жильца является сложным процессом, которое нельзя ограничить алгоритмом «если-то»:* Bing Dong et al. [4] предложили структуру для описания поведения обитателей для построения энергомоделирования здания в соответствии с основой человеческой природы.

Вышеуказанная структура состоит из четырех важных компонентов: драйверы, потребности, действия и системы. Цель состояла в том, чтобы обеспечить стандартный метод поведения жильцов. Через понимание каждой конкретной ситуации с четырьмя факторами в деталях, поведение жильцов и их влияние на потребление энергии здания может быть идентифицировано более организованным и научным способом.

В другой работе авторы [7] заявили, что поведение жильцов невозможно моделировать полностью, поскольку люди слишком неоднозначны. Это одна из причин, почему измерение данных в режиме реального времени является необходимым для решения этой проблемы.

5. *Жилые и коммерческие здания сильно отличаются не только по назначению, но и по потреблению энергии обитателями:* Одна из причин может заключаться в том, что жильцы в жилых домах сами оплачивают счета за энергию и имеют доступ к системному контролю, поэтому их поведение, как правило, более энергоэффективно, по сравнению с офисными зданиями. В литературе отсутствуют конкретные методы или предложения о вариантах моделирования и учета поведения людей для соответствующих типов зданий.

6. *Отсутствуют исследования и решения для интеграции моделей поведения людей в зданиях и существующим программным обеспечением по энергомоделированию зданий:* Несмотря на то, что наблюдается рост заинтересованности ученых в исследованиях поведения жильцов в зданиях, нет никаких решений по включению предложенных моделей в существующие инструменты энергомоделирования зданий. То есть, расхождение между прогнозируемым и измеряемым потреблением энергии в зданиях до сих пор не устранено. В работе [8] представлен анализ связей между факторами, которые ассоциируются с поведением жильцов и входными данными моделирования производительности зданий. Однако, по данным исследования, из 27 факторов, в состав современных средств моделирования, входят только 5. Таким образом, усилия должны быть направлены на интеграцию модели поведения жильцов в программном обеспечении по энергомоделированию зданий. Фактически, Changhai Peng, Kun Qian [9] проводили исследования по моделированию заселенности зданий путем разработки программного модуля, который мог бы моделировать различные уровни заполняемости здания людьми. Но исследования находятся на предварительных этапах.

**Выводы.** Подводя итог, необходим целый модуль по интеграции модели поведения людей, а не только некоторые настройки параметров модели здания.

Учет и моделирование заселенности здания людьми и, в частности, поведение человека в здании является на сегодняшний день одной из актуальных тем исследований. Данная область исследований нуждается в решении таких проблем, как оптимальный выбор и размещение датчиков для сбора данных о заселенности здания людьми, детальные исследования поведения человека в здании с целью правильного моделирования и прогнозирования потребления энергии, разработка методов и решений для моделирования поведения человека для различных типов зданий и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yan Zhang, Xuemei Bai, Franklin P. Mills, John C.V. Pezzey. Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review // Manuscript. - 2018. - p. 39.
2. Amel Nacer, Bruno Marhic, Laurent Delahoche, Jean-baptiste Masson. ALOS: Automatic learning of an occupancy schedule based on a new prediction model for a smart heating management system // Building and Environment. - 2018. - p. 484-501.
3. Bruna Faitao Balvedi, Enedir Ghisi, Roberto Lamberts. A review of occupant behaviour in residential buildings // Manuscript. - 2018. - p. 25.
4. Bing Dong, Zhaoxuan Li, Ahmad Taha, Nikolaos Gatsis. Occupancy-based buildings-to-grid integration framework for smart and connected communities // Applied Energy. - 2018. - p. 123-137.

5. Ибрагимова М.В., Стояк В.В., Нұрланұлы А. Метод учета потерь тепла с инфильтрацией и вентиляцией воздуха и поступлений тепла от людей в общем энергобалансе здания // Тезисы докладов X международной научно-технической конференции, посвященной памяти Первого ректора АУЭС Гумарбека Даукеева. - 2018. - с. 17.
6. Mengda Jia, Ravi S. Srinivasan, Adeeb A. Raheem. From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2017. - p. 525-540.
7. Azar E, Menassa CC. Agent-based modeling of occupants and their impact on energy use in commercial building. J Comput Civ Eng 2011.
8. Wei S, Jones R, de Wilde P. Driving factors for occupant-controlled space heating in residential building. Energy Build 2014; 70:36–44.
9. Changhai Peng, Kun Qian. Development and Application of ZigBee-Based Building Energy Monitoring and Control System // The Scientific World Journal. -2014. –p.2-13.

## CHEMISTRY

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА  
УГЛЕВОДОРОДОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ  
ТЯЖЁЛОЙ СМОЛЫ**

профессор, доктор технических наук, заведующий лабораторией **Садыгов Ф. М.**,  
доктор химических наук, главный научный сотрудник **Магеррамова З. Ю.**,  
доцент, кандидат химических наук, старший научный сотрудник **Гаджиев Г. Н.**,  
инженер **Гасан-заде Г. Г.**,  
инженер **Мамедова И. Г.**,  
инженер **Меликова Э. Т.**,

Азербайджан, Баку, Национальная Академия Наук, Институт Катализа и Неорганической  
Химии им. М.Ф. Нагиева,  
лаборатория «Переработка побочных продуктов химической промышленности»

DOI: [https://doi.org/ 10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6295](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6295)

**ARTICLE INFO**

**Received:** 08 November 2018  
**Accepted:** 20 January 2019  
**Published:** 31 January 2019

**KEYWORDS**

technological regime,  
pyrolysis, heavy pitch,  
olefins,  
ethylene,  
propylene,  
naphthalene,  
gasoline,  
aromatic hydrocarbons

**ABSTRACT**

The dependence of the yield and composition of the heavy pyrolysis resin on the initial hydrocarbon feedstock and the process conditions is investigated. The variation of technological parameters within certain limits leads to a change in the content of low molecular weight olefins in the gaseous pyrolysis products, as well as the qualitative and quantitative composition of by-product liquid products. As a result of the research, the optimum process conditions for the pyrolysis of straight-run gasoline were determined, which, with the maximum conversion of hydrocarbons to low-molecular-weight olefins, significantly increases the yield of heavy resin containing a wide fraction of naphthalene, biphenyl, indene and their alkyl derivatives. It is shown that when treating by-products containing valuable hydrocarbons as target products and combining the technological mode of pyrolysis and their composition, it is possible to achieve along with the maximum yield of low molecular weight olefins, a significant yield of heavy pyrolysis resin and qualitative changes in its composition.

**Citation:** Садыгов Ф. М., Магеррамова З. Ю., Гаджиев Г. Н., Гасан-заде Г. Г., Мамедова И. Г., Меликова Э. Т. (2019) Vliyanie Tekhnologicheskogo Rezhima Ustanovki Termicheskogo Pirolyza Uglevodorodov na Kachestvennyj Sostav Tyazhyolj Smoly. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6295

**Copyright:** © 2019 Садыгов Ф. М., Магеррамова З. Ю., Гаджиев Г. Н., Гасан-заде Г. Г., Мамедова И. Г., Меликова Э. Т. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

На сегодняшний день основным способом получения низкомолекулярных олефинов – этилена и пропилена, остаётся процесс термического пиролиза углеводородного сырья. Пиролиз нефтяных фракций в печах трубчатого типа нашёл широкое применение в современной мировой практике [1].

В промышленных масштабах сырьё, применяемое для пиролиза, в целом характеризуется разнообразием. Из научно-технической литературы известно, что традиционно основным сырьём процесса пиролиза являются: этан; пропан; бутаны, содержащиеся в попутных и в нефтезаводских газах; газовые бензины и бензины прямой перегонки нефти; рафинады каталитического риформинга, остающиеся после удаления ароматических углеводородов из катализата [2].

В связи с дефицитом и высокой стоимостью бензиновых фракций, в последнее время, в качестве сырья пиролиза применяют также средние и тяжёлые нефтяные фракции и даже сырую нефть [3].

Коксообразование и оптимальный выход целевых продуктов являются определяющими факторами при выборе технологического режима пиролиза [4].

Известно, что в зависимости от исходного сырья на установках пиролиза наряду с целевыми газообразными олефинами образуется значительное количество побочных жидких углеводородов, содержание которых может достигать до 40% от общей массы полученных продуктов. Лёгкая смола (пирококонденсат), тяжёлая смола относятся к жидким побочным продуктам пиролиза и служат важным источником для получения не менее ценных, чем этилен и пропилен, соединений [5].

Пирококонденсат, содержание которого достигает максимально 30% от общей массы продуктов, можно перерабатывать в ароматические углеводороды – бензол, толуол, ксилол, стирол, этилбензол, насыщенные и ненасыщенные циклические небензоидные соединения, нефтеполимерные смолы [6].

Тяжёлая смола, содержание которой максимально составляет 12%, в зависимости от сырья, используемого в процессе, является источником бензольных – конденсированных и полициклических (в основном – нафталин, дифенил, инден и их алкилпроизводные) ароматических соединений. Этот побочный продукт пиролиза может быть использована для производства различных конструкционных углеродных материалов, таких как спекающие добавки, связующие, пропиточные и волокнообразующие пеки, позволяющие получать высокомолекулярные углеродные волокна, высокоактивный технический углерод, графит для атомных реакторов и игольчатый кокс, предназначенный для получения высококачественных графитовых электродов [7].

В настоящее время процесс пиролиза углеводородов обеспечивает сырьём многие нефтехимические процессы, и разработка методов усовершенствования процесса с целью увеличения выхода целевых и максимального использования побочных продуктов представляется актуальной задачей. На выход целевых и побочных продуктов процесса пиролиза оказывают влияние различные технологические параметры: температура, давление, качественный состав сырья, соотношение сырья: водяной пар, время пребывания сырья в реакционной зоне [5].

Анализ доступной научно-технической литературы и интернет ресурсов показал, что в них отсутствуют современные фундаментальные исследования по изучению влияния технологических параметров процесса пиролиза углеводородного сырья на качественный и количественный состав побочных продуктов процесса.

Цель проведённого исследования – на основании производственных данных установки пиролиза углеводородов выявить оптимальное сочетание технологического режима пиролиза использованного сырья с качественным, и количественным составом полученных жидких продуктов, в частности тяжёлой смолы.

В ходе экспериментальных исследований, прежде всего, проводилось тщательное ознакомление с технологическим режимом процесса пиролиза на установке производства этилена. Варьирование технологических параметров в определённых пределах приводит к изменению содержания низкомолекулярных олефинов в газообразных продуктах пиролиза, а также качественного и количественного состава побочных жидких продуктов.

Технологический режим работы трубчатых печей на установке ЭП-300 (г. Сумгаит, Азербайджан) приводится ниже (табл. 1)

Таблица 1. Показатели технологического режима работы трубчатых печей на установке пиролиза углеводородного сырья

Показатель	Измерение	
	Единица	Величина
Температура продукта на выходе		
– из печей	°С	830 – 850
– из закалочного аппарата	°С	360 – 400
Расход в печь		
– углеводородного сырья — бензина	тон/час	12,0 – 16,0
– водяного пара	тон/час	8,5 – 12,0
Давление в нагреваемом трубопроводе		
– на входе в пирозмеевик	МПа	1,28 – 1,35
– на выходе из пирозмеевика	МПа	1,09 – 1,12
Время прохождения сырья через пирозмеевик	сек.	0,01 – 0,50

Известно, что на ЭП-300 (г. Сумгаит) в качестве сырья для пиролиза применяют четыре вида углеводородного сырья:

- *прямогонный бензин*;
- *фракции  $C_3 - C_4$* ;
- *этан + фракции  $C_3 - C_4$* ;
- *бензин +  $C_3 - C_4$* .

Качественный и количественный составы исследуемых образцов углеводородного сырья пиролиза и побочного продукта процесса – тяжёлой смолы анализировали хроматографическим и хромато-массспектрометрическими методами:

- хроматограф Agilent 7820A (Agilent Technologies) – хроматографическая колонка HP-5; длина колонки 30 м; внутренний диаметр 0,32 мм; толщина активной фазы на внутренней стенке 0,25  $\mu$ м.
- хромато-масс-спектрометр Clarus 500 (Perkin-Elmer) – диапазон программированного нагревания 50–450°C; расход форвакуумного насоса 3 м<sup>3</sup>/ч; расход турбомолекулярного насоса 259 л/с; диапазон сканирования масс 1-1200 а.е.м.; разрешение 1 а.е.м. по всему диапазону масс; максимальная скорость сканирования до 6500 а.е.м./с.

Предварительные исследования данных, полученных в течении 2017-го года на установке пиролиза ЭП-300, показали, что при использовании в качестве сырья *фракции  $C_3 - C_4$*  или смеси *этан + фракция  $C_3 - C_4$*  образуется относительно меньшее количество жидких побочных продуктов и в их составе массовая доля тяжёлой смолы может достигать 2%. При применении в качестве исходного сырья *прямогонного бензина* или *прямогонный бензин + фракция  $C_3 - C_4$*  доля тяжёлой смолы в жидких побочных продуктах пиролиза значительно выше — более 11% (табл. 2).

Таблица 2. Количественные показатели по жидким побочным продуктам пиролиза и тяжёлой смоле

сырьё для пиролиза	содержание в продуктах пиролиза, масс. %	
	жидкие углеводороды	тяжёлая смола
<i>прямогонный бензин</i>	32,84 – 39,56	9,21 – 11,24
<i>прямогонный бензин + фракция <math>C_3 - C_4</math></i>	32,67 – 39,78	8,38 – 9,45
<i>фракция <math>C_3 - C_4</math></i>	7,32 – 12,49	0,77 – 1,99
<i>этан + <math>C_3 - C_4</math></i>	7,44 – 12,56	0,32 – 1,77

Тяжёлая смола пиролиза представляет собой неоднородную смесь и содержит в своем составе (табл. 3):

- жидкие углеводороды;
- растворённые газы, которые представляют собой насыщенные и ненасыщенные углеводороды  $C_1 - C_5$  с нормальной и разветвлённой структурой;
- конденсат водяного пара;
- нерастворённые, неподвергающиеся идентификации частицы нефтеполимерных смол.

Таблица 3. Количественные показатели растворённых газов, конденсата водяного пара и нефтеполимерных смол в составе тяжёлой смолы в зависимости от качества сырья пиролиза

сырьё для пиролиза	содержание в тяжелой смоле, масс. %		
	растворённые газы	конденсат водяного пара	нефте-полимерные смолы
<i>прямогонный бензин</i>	11,92 – 12,28	2,41 – 3,18	3,44 – 6,73
<i>прямогонный бензин + фракция <math>C_3 - C_4</math></i>	12,14 – 15,37	2,56 – 7,43	3,36 – 7,84
<i>фракция <math>C_3 - C_4</math></i>	25,33 – 28,11	3,25 – 5,85	2,98 – 3,09
<i>этан + <math>C_3 - C_4</math></i>	18,7 – 19,98	2,98 – 4,87	3,16 – 3,32



Приведённые в таблице компоненты смеси тяжёлой смолы выделяются с помощью физических методов. После процедуры их отделения, очищенные образцы тяжёлой смолы подверглись анализу. В случае исходного сырья *прямогонный бензин* и *прямогонный бензин + фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>*, тяжёлая смола богата нафталином, дифенилом, инденом и их акилпроизводными. Также в составе жидких продуктов тяжёлой смолы имеется значительное количество циклических и ациклических, линейных и разветвлённых непредельных углеводородов, определённый набор которых тоже может представлять интерес для дальнейших исследований. Показана зависимость основных компонентов тяжёлой смолы от использованного в процессе пиролиза сырья (табл. 4).

Таблица 4. Зависимость основных компонентов тяжёлой смолы от применяемого углеводородного сырья

сырьё для пиролиза	основные углеводороды тяжёлой смолы, масс. %		
	нафталины	дифенилы	индены
<i>прямогонный бензин</i>	21,42 – 37,04	8,89 – 9,24	4,93 – 5,13
<i>прямогонный бензин + фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub></i>	24,97 – 38,01	8,45 – 9,73	4,12 – 4,69
<i>фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub></i>	10,89 – 11,33	0,99 – 1,94	0,08 – 0,11
<i>этан + C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub></i>	10,54 – 11,86	1,33 – 1,67	0,05 – 0,09

Сопоставление результатов хроматографического анализа образцов тяжёлой смолы, полученных в процессе пиролиза различных видов сырья, указывает на изменение состава тяжёлой смолы в зависимости от углеводородного исходного сырья. Это наглядно демонстрируется на примере основных компонентов — нафталинов, дифенилов, инденов. Если при использовании в процессе пиролиза в качестве сырья *прямогонного бензина* или смеси *прямогонный бензин + фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>* содержание этих углеводородов максимально в тяжёлой смоле, то в случае использования *фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>* или смеси *этан + фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>* соответствующие показатели минимальны. Основные жидкие углеводороды тяжёлой смолы являются ценными веществами, сырьём для химической промышленности.

Нафталин применяется для синтеза фталевого ангидрида, тетралина, декалина, различных производных нафталина, которые используются для получения красителей и взрывчатых веществ, в медицине. Крупные монокристаллы применяются в качестве сцинтилляторов для регистрации ионизирующих излучений. Нафталины могут быть использованы для создания синтетических аналогов каннабиноидов.

Дифенил и его производные применяется как прекурсор в синтезе полихлорированных дифенилов, а также других соединений, используемых в качестве эмульгаторов, инсектицидов и красителей.

Индены применяются для получения кумароно-инденовых смол и ароматических углеводородных резин. Чистый инден используют в синтезе индана, а также для ряда производных, например, эфиров инден-1-карбоновой кислоты, применяемых в качестве акарицидов.

Для научных изысканий, в соответствии с поставленной целью, объектом исследований была выбрана тяжёлая смола процесса пиролиза, исходным сырьём которого служит *прямогонный бензин*. Известно, что в мировой практике *прямогонный бензин* применяется на нефтехимических объектах и предприятиях, как основное сырьё пиролиза для получения этилена и пропилена [8].

*Прямогонным бензином* или *нафтой* называют лёгкие бензиновые фракции, которые можно получить в результате переработки сырой нефти, газового конденсата, природного газа, попутного нефтяного газа и другого углеводородного сырья. Общее свойство *прямогонных бензинов* — низкое октановое число, которое меньше 40, что не позволяет применять их в качестве автомобильного топлива. Только *прямогонные бензины*, полученные из бакинской нефти, имеют октановое число выше 65 и являются высококачественным сырьём для процессов пиролиза [9]. Качественный и количественный состав *прямогонного бензина* применяемого в качестве сырья на установке пиролиза (масс.%), приведён ниже (табл. 5).

Таблица 5. Состав прямогонного бензина – сырья для установки пиролиза

№	углеводороды	массовая доля, %
1	<i>n</i> -бутан	1,43 – 3,24
2	2-метилбутан	6,77 – 8,37
3	пентен	0,67 – 0,81
4	<i>n</i> -пентан	8,97 – 10,59
5	2,2-диметилбутан	0,56 – 0,78
6	2,3-диметилбутан	2,33 – 4,13
7	2-метилпентан	4,58 – 6,87
8	3-метилпентан	3,48 – 4,80
9	<i>n</i> -гексан	8,94 – 10,49
10	2-метилгексан	1,19 – 2,81
11	метилциклопентан	4,51 – 6,15
12	1,2-диметилциклопентан	0,91 – 2,04
13	бензол	0,93 – 1,52
14	циклогексан	1,85 – 3,05
15	2,3-диметилгексан	0,97 – 1,41
16	2,3-диметилпентан	0,45 – 0,88
17	3-метилгексан	0,98 – 1,83
18	2,2,4-триметилпентан	0,38 – 0,75
19	<i>n</i> -гептан	4,29 – 5,44
20	2-метилгептан	1,28 – 2,19
21	метилциклогексан	1,16 – 1,96
22	2,5-диметилгексан	0,56 – 0,89
23	2,3,4-триметилпентан	0,67 – 0,81
24	толуол	1,37 – 2,03
25	3-метилгептан	1,56 – 1,65
26	1,2,3-триметилциклопентан	0,39 – 0,63
27	этилциклогексан	0,49 – 0,67
28	1-метил-2-этилциклопентан	1,97 – 2,38
29	<i>n</i> -октан	0,09 – 0,17
30	изопропилциклопентан	4,08 – 4,69
31	1,2-диметилциклогексан	0,42 – 0,63
32	2-пропилциклопентан	0,08 – 1,33
33	2,5-диметилгептан	0,64 – 0,91
34	этилбензол	0,36 – 0,71
35	1,2,4-триметилциклогексан	0,48 – 0,75
36	1,3-диметилбензол	1,09 – 1,42
37	1,4-диметилбензол	0,44 – 0,73
38	1,2,3-триметилциклогексан	0,37 – 0,62
39	3-метилоктан	0,69 – 0,98
40	1,2-диметилбензол	0,65 – 0,81
41	изобутилциклопентан	1,27 – 1,56
42	<i>n</i> -нонан	3,98 – 4,34
43	1,3-диметил-5-этилбензол	0,53 – 0,77
44	1,3,5-триметилбензол	0,68 – 0,92
45	1-метил-4-изопропилбензол	2,07 – 2,42
46	1,2,3,5-тетраметилбензол	0,59 – 0,88

Очевидно, что в исходном сырье — *прямогонном бензине* отсутствуют компоненты тяжелой смолы, которые являются основными объектами исследователей. Хроматографический анализ очищенной тяжелой смолы, полученной пиролизом данного

прямогонного бензина, показал, что в побочном продукте процесса в значительном количестве присутствуют интересующие потребителей вещества. Состав тяжёлой смолы, полученной при пиролизе бензина, (масс%), приведён ниже (табл. 6).

Таблица 6. Углеродный состав тяжёлой смолы – побочного продукта пиролиза прямогонного бензина

№	углеводороды	массовая доля, %
1	ксилолы	1,46 – 1,78
2	изопропилбензол	2,44 – 2,69
3	нафталин	17,63 – 23,47
4	метилнафталины	5,05 – 5,48
5	этилнафталины	2,68 – 3,31
6	диметилнафталины	7,92 – 9,27
7	индены	4,93 – 5,31
8	дифенилы	8,42 – 9,54
9	аценафтен	2,82 – 3,34
10	флуорен	0,68 – 0,97
11	фенантрен	0,96 – 1,18
12	антрацен	1,28 – 1,56
13	не идентифицированные	4,67 – 4,94
14	Σ неопредельные	32,61 – 33,76

Анализ научной литературы показал наличие исследований по изучению влияния соотношения водяной пар: сырьё на выход целевых продуктов лишь для случая пиролиза фракция C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub> в присутствии катализатора [10]. При проведении исследований изучалось влияние соотношения количеств, взятого сырья и водяного пара на выход тяжёлой смолы и её качественный состав. Аналитические данные, полученные на установке ЭП-300, указывают на то, что процесс пиролиза углеводородного сырья проводится с применением значительных количеств водяного пара (8,5 – 12,0 т/ч) при соотношении сырья и водяного пара в пределах 1,0 : 1,1 – 1,0 : 1,6. Эти технологические параметры оптимально приемлемы, так как большой расход водяного пара обеспечивает уменьшение скорости коксообразования, повышая тем самым продолжительность процесса пиролиза до 860 ч.

При изучении влияния времени хранения на состав и физико-химические свойства сырой (неочищенной) тяжёлой смолы пиролиза выявлено, что объект исследования – неоднородная, гетерогенная система. При хранении такой тяжёлой смолы в стеклянной ёмкости в течение более года происходит расслоение на воду, углеводороды и тяжёлые смолистые соединения. Одновременно меняется качественный состав углеводородной части, но это не отражается на количестве нафталинов, дифенилов и инденов [11-12].

В существующих современных установках пиролиза выход и качество тяжелой смолы не регулируются. Если рассматривать смолу как побочный продукт процесса, нельзя добиться её стабильного состава и неизменных физико-химических свойств. Только при отношении к тяжёлой смоле как к дополнительному целевому продукту пиролиза, и, сочетая её качественный состав с технологическим режимом, при максимальном выходе основных продуктов процесса, можно достичь положительных результатов.

Таким образом, в результате проведённых исследовательских работ выявлен технологический режим пиролиза прямогонного бензина, позволяющий при оптимальной конверсии углеводородного сырья в низкомолекулярные олефины значительно увеличить выход тяжёлой смолы, содержащей широкую фракцию нафталинов, дифенилов, инденов.

Предложенный технологический режим работы трубчатых печей на установке ЭП-300 (табл. 7).

Таблица 7. Показатели технологический режима работы трубчатых печей на установке пиролиза углеводородного сырья

Показатель	Измерение	
	Единица	Величина
Температура продукта на выходе		
– из печей	°С	845 – 850
– из закалочного аппарата	°С	360 – 380
Расход в печь		
– углеводородного сырья — бензина	тон/час	15 – 16
– водяного пара	тон/час	10 – 12
Давление в нагреваемом трубопроводе		
– на входе в пирозмеевик	МПа	1,32 – 1,35
– на выходе из пирозмеевика	МПа	1,11 – 1,12
Время прохождения сырья через пирозмеевик	сек.	0,20 – 0,50

В ходе исследований своё подтверждение нашло утверждение, что углеводородный состав, физико-химические свойства тяжёлой смолы пиролиза на промышленной установке изменяются в зависимости от сырья, технологического режима процесса, расхода перегретого водяного пара. Анализы показали, что состав побочных продуктов пиролиза изменяется даже при переработке одного вида сырья. В этом случае доминирующим фактором процесса пиролиза является технологический режим.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинцев И.Ю. Пиролиз // Химический Журнал (The Chemical Journal). — 2006, № 5, с. 42-46.
2. Жагфаров Ф.Г., Гусков П.О., Лapidус А.Л. Тенденции переработки газового углеводородного сырья в процессе пиролиза // Газохимия. — 2011, № 3-4 (19-20), с. 26-31.
3. Пат. 2002126609А РФ, 2004. А. Дж. Баумгартнер, Пуи-Юэн Джеффри Чан, Денни Юк-Кван Нган. Пиролиз сырой нефти и фракций сырой нефти, содержащих пек.
4. Андреева М.М. Кокс образование при пиролизе углеводородного сырья // Вестник Казанского университета. — 2014, т. 17, № 2, с. 279-280.
5. Солодова Н.Л., Абдуллин А.И. Пиролиз углеводородного сырья. — Казань: Издательство КНИТУ, 2007, 239 с.
6. Садыгов Ф.М., Магеррамова З.Ю., Гаджиев Г.Н., Джахандаров Ш.Дж., Мамедова И.Г. Рациональная переработка пироконденсата – побочного продукта производство этилена // WORLD SCIENCE — Dubai: 2018, vol.2, № 2(30), p. 52-55
7. Думский Ю.В., Чередникова Г.Ф., Думский С.Ю. Новые процессы квалифицированного использования жидких побочных продуктов пиролиза углеводородного сырья // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2014, № 1, с. 80-82.
8. Салахов И.И. Пиролиз прямогонного бензина с добавлением водорода в производстве низших олефинов. Дисс. канд. техн. наук. — Казан: Казанский Государственный Технологический университет. — 2005, 171 с.
9. Магеррамов А.М., Ахмедова Р.А., Ахмедова Н.Ф. Нефтехимия и нефтепереработка. — Баку: «Баки Университети». — 2009, 660 с.
10. Лаврентьева Т.А., Каратун О.Н. Влияние соотношения водяной пар: сырье на выход целевых продуктов процесса пиролиза пропан-бутановой фракции в присутствии пентасилсодержащих катализаторов // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2009, № 1 (48), с. 42-46.
11. Садыгов Ф.М., Магеррамова З.Ю., Гаджиев Г.Н., Гейдарлы Н.И., Садыгова Н.С., Гахраманов Г.С. Переработка тяжелой смолы пиролиза с целью решения экологических проблем // Материалы Республиканской научной конференции посвященной 80-летию юбилею Института катализа и неорганической химии. — Баку, 2016, с. 452-453.
12. Садыгов Ф.М., Магеррамова З.Ю., Гаджиев Г.Н., Гусейнов И.А., Гейдарлы Н.И., Гасан-заде Г.Г. Исследование путей извлечения нафталина из тяжелой смолы пиролиза // Тезисы Бакинской Международной Мамедалиевской конференции. — Баку, 2016, с. 137.

## ECOLOGY

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ ДЛЯ БАСЕЙНУ РІЧКИ УДИ В МЕЖАХ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

канд. техн. наук *Рибалова О. В.*<sup>1</sup>,  
канд. біол. наук *Ільїнський О. В.*<sup>1</sup>,  
*Бондаренко О. О.*<sup>1</sup>,  
*Макаров Є. О.*<sup>1</sup>,  
*Жук В. М.*<sup>2</sup>

Україна, м. Харків,

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України,

<sup>2</sup>Басейнова рада Сіверського Дінця та Нижнього Дону

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/31012019/6296](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012019/6296)

**ARTICLE INFO**

**Received:** 12 November 2018

**Accepted:** 22 January 2019

**Published:** 31 January 2019

**KEYWORDS**

ecological condition,  
ecological norms,  
forecast,  
river Udy river basin,  
Kharkiv region

**ABSTRACT**

The article improves the method of establishing ecological norms of surface water quality in accordance with Ukrainian legislation and the Water Framework Directive of the European Union, which represents the scientific novelty of work. For the first time environmental norms for water flows of the Udy river basin have been determined on the basis of the forecast of their qualitative condition, taking into account the landscape-geographic features of the functioning of aquatic ecosystems. Ranking of the observation posts for the quality status of the Udy River in terms of the ecological index value for the permissible and target ecological standard makes it possible to identify the most polluted watercourses. The improvement of the methodology for establishing ecological norms of surface water quality has a purpose to introduce an iterative approach to the management of surface water quality into the water protection practice of Ukraine and its adaptation to the environmental legislation of the EU countries.

**Citation:** Рибалова О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Макаров Є. О., Жук В. М. (2019) Vyznachennia Ekolohichnykh Normatyviv dlia Baseinu Richky Udy v Mezkhakh Kharkivskoi Oblasti. *World Science*. 1(41), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal\_ws/31012019/6296

**Copyright:** © 2019 Рибалова О. В., Ільїнський О. В., Бондаренко О. О., Макаров Є. О., Жук В. М. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Вступ.** Необхідність наукового обґрунтування допустимої межі антропогенного впливу на стан навколишнього природного середовища, зокрема на якісний стан поверхневих вод обумовлює актуальність розробки та впровадження системи екологічних нормативів з метою підвищення екологічної безпеки і раціонального використання природних ресурсів.

Сучасна практика встановлення екологічних нормативів стану навколишнього природного середовища та антропогенного навантаження на нього базується на статті 33 Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” [1], яка зобов’язує дотримання вимог санітарно-гігієнічних та санітарно-протиепідемічних правил і норм, гігієнічних нормативів, але не враховує дослідження ландшафтно-географічних особливостей природних екосистем на основі всебічного аналізу взаємозв’язків всіх компонентів

ландшафтних комплексів у цілому, врахування їх генезису та властивостей, закономірностей формування та змін під впливом природних та антропогенних факторів.

Басейн р. Уди має транскордонне значення і протікає територією великого індустріального центру України, який характеризується високим антропогенним навантаженням. Тому наукове обґрунтування екологічних нормативів якості поверхневих вод басейну річки Уди в Харківській області є дуже актуальним завданням.

**Методи дослідження.** Вимога до встановлення екологічних нормативів стану навколишнього природного середовища й антропогенних навантажень викладено в статті 33 Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” [1].

Статті 35 і 37 Водного Кодексу України [2] також передбачають встановлення екологічних нормативів якості водних об’єктів. У той же час методика встановлення цих нормативів дотепер не затверджена. Основні положення методики встановлення екологічних нормативів якості поверхневих вод базуються на основних принципах і положеннях Концепції екологічного нормування [3], Водного кодексу України [2], Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу [4] і рекомендаціях міжнародної організації співробітництва й економічного розвитку для країн Східної Європи, Кавказу й Центральної Азії (БЕКЦА) [5].

Система екологічного нормування повинна забезпечити нормативну основу досягнення балансу між рівнями шкідливого впливу на навколишнє середовище і його здатностями до відновлення [6–9].

При розробці екологічних нормативів необхідно застосовувати ландшафтно-екологічний підхід, що враховує географічне положення, динаміку формування й функціонування природних систем, їх різноманітність і одночасно індивідуальну унікальність, стійкість до кліматичних змін, природних і антропогенних впливів і т.п. [6–9].

Розробка екологічних нормативів для водних об’єктів має за мету удосконалення водоохоронної діяльності при збереженні благополуччя водної екосистеми. Екологічні нормативи встановлюють на підставі аналізу результатів обробки матеріалів попередніх гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних, еколого-токсикологічних і радіоекологічних експедиційних досліджень і режимних спостережень. У цьому полягає принципова відмінність екологічних нормативів якості поверхневих вод від нормативів безпеки водокористування – гранично-допустимих концентрацій (ГДК) окремих шкідливих речовин [6].

У роботі [10] на основі аналізу досвіду управління водними ресурсами в Україні й за кордоном сформульовані основні принципи впровадження в Україні комплексного планування й екологічного управління в області використання, охорони й відновлення водних ресурсів. Наведено приклади практичного застосування методики комплексної оцінки й екологічного нормування якості поверхневих вод як основи екологічного менеджменту на прикладі басейну р. Тетерів.

Вперше екологічні нормативи якості води відповідно до Концепції [3] були встановлені для р. Тетерів [10] і р. Рось [11]. Основою визначення екологічних нормативів якості води була обрана екологічна класифікація якості поверхневих вод [12]. Але екологічні нормативи якості води р. Рось і р. Тетерів встановлені без науково-обґрунтованої методики їх визначення.

В роботах [8,9] представлено методику визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод і відповідно до цього методу встановлено екологічні нормативи для річки Оскіл. Розроблено екологічні нормативи допустимі (ЕНд), перевищення яких призведе порушення стійкості водної екосистеми, й екологічні нормативи цільові (ЕНц) як перспективні, на досягнення яких повинна орієнтуватися водоохоронна стратегія.

Запропоновано встановлювати екологічні нормативи допустимі (ЕНд) і цільові (ЕНц) окремо для конкретних водних об’єктів на підставі обробки багаторічних даних спостережень за гідрологічними, гідрохімічними і гідробіологічними даними з визначенням екологічного індексу згідно з удосконаленою методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [13], з урахуванням прогнозних моделей [8,9].

Необхідно відзначити, що методику екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [13] розроблено з урахуванням вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу [4], але вона досі не затверджена. Визначення екологічного стану поверхневих вод відповідно до методики [13] вимагає обробку і аналіз великої кількості гідробіологічних даних, що в сучасних умовах проведення моніторингу якості поверхневих вод в Україні практично нереально. Оскільки ми вважаємо встановлення екологічних нормативів для водних об’єктів з урахуванням їх ландшафтно-географічних особливостей конче необхідним, то пропонуємо в разі відсутності гідробіологічних і гідроморфологічних даних брати за основу методику екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [12].

Пропонуємо вдосконалити методику визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод, яка представлена в роботах [8,9]. Встановлення значень екологічних нормативів (ЕН) для конкретного водного об'єкта складається із наступних етапів:

1) збір, обробка, аналіз вихідних даних і усереднення величин кожного показника екологічного стану водного об'єкта за обраний період часу;

2) побудова бази даних щодо якісного стану водного об'єкту за період більше 20 останніх років;

3) оцінка середнього і максимального екологічного індексу ( $I_E$ ) за відповідними категоріями за окремими показниками якісного стану водного об'єкту за методикою [12] або в разі наявності гідробіологічних і гідроморфологічних даних за методикою [13];

4) аналіз динаміки змін середнього і максимального екологічного індексу за обраний період спостереження для водного об'єкту з метою визначення опорних періодів для встановлення екологічних нормативів з мінімальними значеннями екологічного індексу ( $I_E$ );

5) побудова прогнозної моделі екологічного стану водного об'єкту по кожному досліджуваному показнику на період від 15 до 25 років;

6) встановлення значень допустимих екологічних нормативів (ЕНд) для окремих показників якості води на основі визначення середнього значення даних показників з ряду спостережень в обрані опорні періоди, сучасних значень і їх прогнозних величин.

7) встановлення значень цільових екологічних нормативів (ЕНц) для окремих показників якості води на основі визначення мінімальних значень даних показників з ряду спостережень в обрані опорні періоди, сучасних значень і їх прогнозних величин.

Для побудови прогнозних моделей екологічного стану водних об'єктів пропонуємо використовувати метод Хольта-Уінтерса. Цей метод успішно розраховує як середньострокові, так і довгострокові прогнози, оскільки він здатний визначати мікротренди (тренди, які відносяться до коротких періодів) у періоди часу, що безпосередньо передують прогнозом, і екстраполювати ці тренди на майбутнє [14].

Використання прогнозних значень необхідно для уточнення значень екологічного нормативу, а також для правильного планування водогосподарської діяльності, у тому числі й розробки науково-обґрунтованих природоохоронних заходів.

Встановлення значень ЕНд для окремих показників якості поверхневих вод проводиться на основі фактичних значень окремих показників в обрані опорні періоди, з урахуванням прогнозних величин. При цьому відбираються не менше 3-х років із усього ряду років спостережень і один рік з останніх 5 років ряду спостережень з найкращими показниками екологічного індексу ( $I_E$ ). Таким чином, екологічний норматив допустимий (ЕНд) представляє собою середньоарифметичне значення між перерахованими значеннями для кожного показника.

З метою визначення основних показників погіршення екологічного стану водного об'єкта кожному значенню ЕНд привласнюються відповідні категорії якості поверхневих вод відповідно до методики [12] або методики [13].

Встановлення значень ЕНц для окремих показників якості води проводиться аналогічно визначенню ЕНд. Але значення цільового екологічного нормативу (ЕНц) відповідає мінімальним значенням показників з діапазону обраних даних.

**Результати дослідження.** Басейн р. Уди є однією з найбільших приток річки Сіверський Донець та має транскордонний характер. Загальна довжина річки – 164 км, з них 127 км протікає територією Харківської області. Загальна площа водозбору – 3894 км<sup>2</sup>, з них 3460 км<sup>2</sup> знаходяться в Харківській області

Пост спостереження за якісним станом р. Уди в с. Окоп розташовано на кордоні з Російською Федерацією. Це транскордонна ділянка річки Уди. Річка вузька, ширина на перекатах 3 – 5 м, на плесах до 7 – 8 м. Течія досить швидка, глибина 0,6 – 1,0 м. Уздовж русла розвинені смуги деревної й чагарникової гідрофільної рослинності. Дно на перекатах круте, на плесах – більше полого. Грунт мулистий з великою кількістю рослинного детриту. Безпосередньо в районі відбору проб біля річки немає житлових будівель, примикають сільгоспугіддя, головним чином сіножаті [15].

Відповідно до методики [12] визначено середній і максимальний екологічний індекс для річки Уди в с. Окоп за період з 2000 року по 2017 рік. Значення середнього екологічного індексу для річки Уди в с. Окоп за період з 2000 року по 2017 рік відповідає 3 категорії і 2 класу якості (гарний стан). Значення максимального екологічного індексу для річки Уди в с. Окоп за період з 2000 року по 2017 рік відповідає 5 категорії (незадовільний стан) і 3 класу якості (задовільний стан).

Прогноз екологічного стану р. Уди в с. Окоп показав, що за значенням середнього екологічного індексу в 2027 році відповідатиме 3 категорії, II клас – гарний стан. Прогноз екологічного стану р. Уди в с. Окоп показав, що за значенням максимального екологічного індексу в 2032 році відповідатиме 5 категорії (незадовільний стан), III клас – задовільний стан.

Відповідно до визначення екологічного індексу для р. Уди в с. Окоп найменші значення спостерігались у 2003, 2005, 2010 і 2012 роках. Відповідно до методики [12] визначено екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів р. Уди в с. Окоп (табл. 1).

Таблиця 1. Екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів для р. Уди в с. Окоп

Норматив	I <sub>1сер</sub>	I <sub>2сер</sub>	I <sub>3сер</sub>	I <sub>есер</sub>	I <sub>1мах</sub>	I <sub>2мах</sub>	I <sub>3мах</sub>	I <sub>емах</sub>
ЕНд	2,67	3,57	3,20	3,15	4,00	7,00	4,00	5,00
ЕНц	1,67	3,00	1,60	2,09	2,00	7,00	2,00	3,67

Пост спостереження за якісним станом р. Уди в смт. Пересічне є також пунктом відбору проб гідрометеорологічної служби та Держводагентства. На цій ділянці русло річки звивисте, шириною близько 10 м, течія не досить швидка. Лівий берег положисто-горбкуватий, покритий луговою рослинністю; вище розташовані городи, житлові будівлі. Правий берег покритий деревною рослинністю. Береги, в основному, абразивні, дно не полого; ґрунт – чорний мул, місцями – замулений пісок [15].

Визначено середній і максимальний екологічний індекс для річки Уди в смт. Пересічне за період з 1971 року по 2017 рік. Значення середнього екологічного індексу для річки Уди в смт. Пересічне за період з 1971 року по 2017 рік відповідає 3 і 4 категоріям та 2 і 3 класам якості (гарний і задовільний стан). Значення максимального екологічного індексу для річки Уди в смт. Пересічне за період з 1971 року по 2017 рік відповідає 5 і 6 категоріям (незадовільний і поганий стан) та 3 і 4 класам якості (задовільний і поганий стан).

Прогноз екологічного стану р. Уди в смт. Пересічне показав, що за значенням середнього екологічного індексу в 2042 році відповідатиме 3 категорії, II клас – гарний стан. Прогноз екологічного стану р. Уди в смт. Пересічне показав, що за значенням максимального екологічного індексу в 2042 році відповідатиме 6 категорії (поганий стан), IV клас – поганий стан.

Відповідно до визначення екологічного індексу для р. Уди в смт. Пересічне найменші значення спостерігались у 1983, 1995, 1999 і 2004 роках.

Відповідно до методики [12] визначено екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів р. Уди в смт. Пересічне (табл. 2).

Таблиця 2. Екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів для р. Уди в смт. Пересічне

Норматив	I <sub>1сер</sub>	I <sub>2сер</sub>	I <sub>3сер</sub>	I <sub>есер</sub>	I <sub>1мах</sub>	I <sub>2мах</sub>	I <sub>3мах</sub>	I <sub>емах</sub>
ЕНд	3,00	4,75	3,50	3,75	4,00	7,00	5,00	5,33
ЕНц	1,50	3,50	1,75	2,25	2,00	5,00	3,00	3,33

В с. Хорошево ширина річки Уди досягає 30 м, течія середня. Житлові будівлі до річки не прилягають; заплава заросла дерево-чагарниковою й трав'янистою рослинністю. Береги і дно не круті, відносно пологі. Ґрунт – переважно чорний рідкий мул, злегка промитий по центру русла [15].

Визначено середній і максимальний екологічний індекс для річки Уди в с. Хорошево за період з 1971 року по 2017 рік. Значення середнього екологічного індексу для річки Уди в с. Хорошево за період з 1971 року по 2017 рік відповідає 4 категорії (задовільний стан) та 3 класу якості (задовільний стан). Значення максимального екологічного індексу для річки Уди в с. Хорошево за період з 1971 року по 2017 рік відповідає 6 категорії (поганий стан) та 4 класу якості (поганий стан).

Прогноз екологічного стану р. Уди в с. Хорошево показав, що за значенням середнього екологічного індексу в 2041 році відповідатиме 4 категорії, III клас – задовільний стан. Прогноз екологічного стану р. Уди в с. Хорошево показав, що за значенням максимального екологічного індексу в 2041 році відповідатиме 7 категорії, V клас – дуже поганий стан. Відповідно до визначення екологічного індексу для р. Уди в с. Хорошево найменші значення спостерігались у 1971, 1993, 1997 і 2003 роках.

Відповідно до методики [12] визначено екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів р. Уди в с. Хорошево (табл. 3).



Таблиця 3. Екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів для р. Уди в с. Хорошево

Норматив	I <sub>1сер</sub>	I <sub>2сер</sub>	I <sub>3сер</sub>	I <sub>есер</sub>	I <sub>1мах</sub>	I <sub>2мах</sub>	I <sub>3мах</sub>	I <sub>мах</sub>
ЕНд	4,50	4,00	3,50	4,00	5,00	7,00	5,00	5,67
ЕНц	3,00	3,40	2,17	2,86	3,00	6,00	4,00	4,33

Русло річки Уди в смт. Есхар досить широке (30-40 м), течія слабка. Береги пологі. Лівий рівнинний берег являє собою широку заплаву луку з окремими групами дерев, правий трохи крутіший; заріс дерево-чагарниковою рослинністю. Донні відкладення – досить потужний шар мулу, трохи промитий по фарватеру [15].

Визначено середній і максимальний екологічний індекс для річки Уди в смт. Есхар за період з 1964 року по 2017 рік. Значення середнього екологічного індексу для річки Уди в смт. Есхар за період з 1964 року по 2017 рік відповідає 4 категорії і 3 класу якості (задовільний стан). Значення максимального екологічного індексу для річки Уди за період з 1964 року по 2017 рік відповідає 6 категорії і 4 класу якості (поганий стан).

Прогноз екологічного стану р. Уди в смт. Есхар показав, що за значенням середнього екологічного індексу в 2042 році відповідатиме 4 категорії, III клас – задовільний стан. Прогноз екологічного стану р. Уди в смт. Есхар показав, що за значенням максимального екологічного індексу в 2042 році відповідатиме 7 категорії, V клас – дуже поганий стан. Відповідно до визначення екологічного індексу для р. Уди в смт. Есхар найменші значення спостерігались у 1964, 1972, 1990 і 1999 роках.

Відповідно до методики [12] визначено екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів р. Уди в смт. Есхар (табл. 4).

Таблиця 4. Екологічні індекси для допустимих і цільових екологічних нормативів для р. Уди в смт. Есхар

Норматив	I <sub>1сер</sub>	I <sub>2сер</sub>	I <sub>3сер</sub>	I <sub>есер</sub>	I <sub>1мах</sub>	I <sub>2мах</sub>	I <sub>3мах</sub>	I <sub>мах</sub>
ЕНд	4,50	4,90	4,29	4,56	5,00	7,00	6,00	6,00
ЕНц	2,50	3,50	2,86	2,95	4,00	7,00	6,00	5,67

Рангування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу для допустимого екологічного нормативу показало, що найбільш забрудненою є ділянка в смт. Есхар (рис.1).

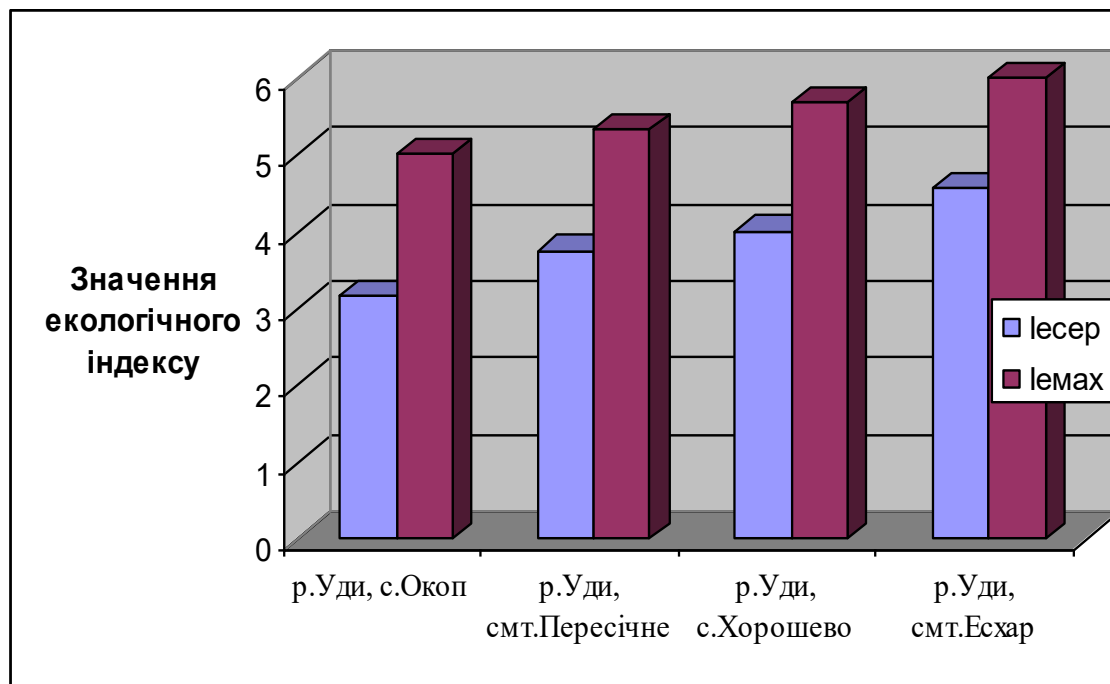


Рис. 1. Рангування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу для допустимого екологічного нормативу

Необхідно відзначити, що значення максимального екологічного індексу для допустимого екологічного нормативу в с. Хорошево і смт. Есхар відповідає 6 категорії, 4 класу (поганий стан), а значення середнього екологічного індексу в смт. Есхар – 5 категорії (незадовільний стан).

Рангування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу для цільового екологічного нормативу показало, що найбільш забрудненою є також ділянка в смт. Есхар (рис.2).

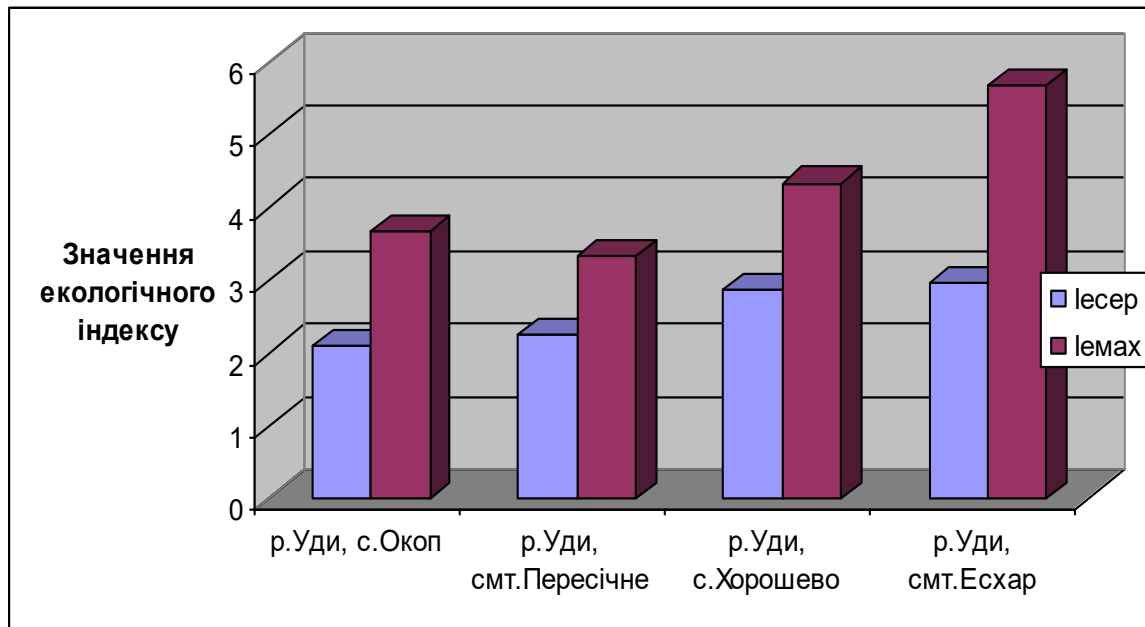


Рис. 2. Рангування постів спостереження за якісним станом річки Уди в Харківській області за значенням екологічного індексу для цільового екологічного нормативу

Значення середнього екологічного індексу для цільового екологічного нормативу річки Уди в Харківській області відповідає 2 категорії (дуже гарна якість) і 3 категорії 2 класу якості (гарний стан). Але за значенням максимального екологічного індексу для цільового екологічного нормативу річки Уди в Харківській області відповідає 3 категорії (гарна якість), 4 категорії (задовільна якість) і 5 категорії (незадовільна якість) 2 класу якості (гарний стан) і 3 класу якості (задовільний стан).

Порівняльний аналіз значень екологічних нормативів для річки Уди в Харківській області показав, що по деяким забруднюючим речовинам допустимі і навіть цільові екологічні нормативи перевищують значення рибогосподарських ГДК.

В річці Уди в с. Окоп допустимий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по міді в 6,9 разів, по залізу загальному – 1,48 разів, по нафтопродуктам – в 1,38 разів, по сульфатам – в 1,14 разів. Цільовий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по міді в 1,06 разів.

В річці Уди в смт. Пересічне допустимий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по нафтопродуктам в 2,43 разів, по БСК<sub>5</sub> – в 1,16 разів, по цинку<sup>2+</sup> – в 1,13 разів, по сульфатам – в 1,04 разів. Цільовий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по БСК<sub>5</sub> в 1,04 разів.

В річці Уди в с. Хорошево допустимий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по азоту амонійному в 5,03 разів, нафтопродуктам – в 3,03 разів, по залізу загальному – в 2,36 разів, по марганцю – в 2,16 разів, БСК<sub>5</sub> – 1,74 разів, по сульфатам – в 1,65 разів, по цинку<sup>2+</sup> – в 1,53 разів, Цільовий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК азоту амонійному в 3,26 разів, по нафтопродуктам – в 1,8 разів, по марганцю – в 1,5 разів.

В річці Уди в смт. Есхар допустимий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по азоту амонійному в 7,41 разів, по цинку<sup>2+</sup> – в 6,96 разів, по марганцю – в 4,06 разів, нафтопродуктам – в 3,15 разів, по сульфатам – в 1,85 разів, по фосфатам – в 1,65 разів, по БСК<sub>5</sub> – в 1,6 разів, по залізу загальному – в 1,32 разів. Цільовий екологічний норматив перевищує рибогосподарські ГДК по марганцю в 3,78 разів, по фосфатам – в 1,57 разів, по цинку<sup>2+</sup> – в 1,5 разів, по сульфатам – в 1,22 разів, по БСК<sub>5</sub> – в 1,15 разів (табл. 5).

Таблиця 5. Перевищення рибогосподарських ГДК (ГДКрг) допустимими екологічними нормативами (ЕНд) і цільовими екологічними нормативами (ЕНц) в річці Уди в смт. Есхар

Назва показника	ЕНд	ЕНд/ГДКрг	ЕНц	ЕНц/ГДКрг
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	184,74	<b>1,85</b>	122,27	<b>1,22</b>
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	3,71	<b>7,41</b>	0,34	0,67
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	3,46	<b>1,65</b>	3,29	<b>1,57</b>
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	4,80	<b>1,60</b>	3,45	<b>1,15</b>
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,16	<b>3,15</b>	0,02	0,40
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,13	<b>1,32</b>	0,08	0,80
Цинк <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,07	<b>6,96</b>	0,015	<b>1,50</b>
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,04	<b>4,06</b>	0,038	<b>3,78</b>

Необхідно відзначити, що допустимі і цільові екологічні нормативи визначались на основі спостереження за якісним станом річки Уди на протязі останніх 50 років і прогнозних моделей терміном на 20 – 25 років. Це означає, що дотримання рибогосподарських ГДК по вищезгаданім забруднюючим речовинам не є можливим.

Програмою управління якістю вод на період від п'яти до десяти років повинні передбачатися цільові показники із установленими строками їхнього досягнення по класах водокористування для конкретних водних об'єктів і заходи для їхнього виконання. Якщо аналіз економічної доцільності показує, що виконати деякі цільові показники у встановлений термін неможливо, вони повинні бути переглянуті у бік зм'якшення вимог [8,9,16].

Ітеративний процес планування якості вод покликаний знайти баланс між бажаними видами водокористування й цільовими показниками якості вод, з одного боку, і наявними фінансовими, технічними й кадровими ресурсами, з іншої. Ітеративний підхід до управління якістю поверхневих вод, який здійснюється в країнах ЄС, передбачає поетапне досягнення цільових показників.

Для впровадження ітеративного підходу до управління водоохороною діяльністю необхідним є розробка науково обґрунтованих екологічних нормативів якості поверхневих вод з визначенням допустимих і цільових показників екологічного стану водних об'єктів.

**Висновки.** Оцінка екологічного стану річки Уди за значеннями екологічного індексу показала погіршення за довгостроковий період. Якісний стан річки Уди в Харківській області погіршується від кордону з Росією (с. Окоп) до гирла (сmt. Есхар).

В роботі удосконалена методика встановлення екологічних нормативів якості поверхневих вод, яка спрямована на впровадження ітеративного підходу до управління якістю поверхневих вод в водоохоронну практику України та її адаптацію до екологічного законодавства країн ЄС.

Для визначення допустимих і цільових екологічних нормативів якості поверхневих вод пропонується застосування прогнозування методом Хольта – Уінтерса. Аналіз багаторічних спостережень за якісним станом поверхневих вод показав, що їх показники можуть різко змінюватися на протязі років, тому саме метод потрійного експонентного згладжування тимчасового ряду дозволяє робити як середньострокові, так і довгострокові прогнози, оскільки він здатний виявляти мікротренди у моменти часу, безпосередньо попередні прогнозним, і екстраполювати ці тренди на майбутнє.

Значення середнього екологічного індексу для цільового екологічного нормативу річки Уди в Харківській області відповідає 2 категорії (дуже гарна якість) і 3 категорії (гарна якість) 2 класу якості (гарний стан). За значенням максимального екологічного індексу для цільового екологічного нормативу річки Уди в Харківській області відповідає 3 категорії (гарна якість), 4 категорії (задовільна якість) і 5 категорії (незадовільна якість), 2 класу якості (гарний стан) і 3 класу якості (задовільний стан).

Ранжування постів спостереження за якісним станом річки Уди за значенням екологічного індексу для допустимого і цільового екологічного нормативу показало, що найбільш забрудненою є ділянка в смт. Есхар.

Розрахунки показали, що необхідним є першочергове впровадження природоохоронних заходів на ділянці річки Уди в смт. Есхар на основі аналізу впливу природних і антропогенних чинників на водну екосистему з урахуванням оцінки раціональності господарського використання водозбірної площі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”. – К.: Україна. – 1991. – 59с
2. Водний Кодекс України Видання газети “Голос України”, 1995 .- 15 с
3. Концепція екологічного нормування. – К.: Мінекобезпеки України, 1997. – 20 с
4. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ab.gov.tr/files/SEPВ/cevrefaslidokumanlar/2000\\_60\\_atsayilisucercevedirektifi.pdf](http://www.ab.gov.tr/files/SEPВ/cevrefaslidokumanlar/2000_60_atsayilisucercevedirektifi.pdf)
5. Task Force for the Implementation of the Environmental Action Programme for Central and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Regulatory Environmental Programme Implementation Network / Organisation for Economic Co-operation and Development / ENV/EPOC/EAP/REPIN(2011)1/FINAL 7 – p.53
6. Васенко О.Г., Коробкова Г.В. Загальні принципи визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод// Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: VII Міжнародна наук.-практ. конф., 12-16 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим, Україна : Зб. наук. ст. У 2-х т. Т. 1 УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2011, 332 с. – с.228-233
7. Коробкова Г. В. Методи екологічного нормування у адміністративно-басейновому управлінні водоохоронною діяльністю / Г.В. Коробкова // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. ст. XI Міжнар. наук.-практ. конф., (м.Харків, 7–11 вересня 2015), УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2015. – С. 131–134
8. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Коробкова Г.В. Экологическое нормирование качества поверхностных вод с учетом региональных особенностей. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т1 (44). – С. 21-33
9. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Коробкова Г.В. Визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод з урахуванням прогностичних моделей та регіональних особливостей . East European Scientific Journal. – 2016. - № 8 (12). Volume 3. – С. 5-13
10. Васенко О.Г. Комплексне планування та управління водними ресурсами [Текст] / О.Г. Васенко, Г.А. Верніченко. – Київ : Інститут географії НАН України, 2001. – 367 с
11. Романенко В.Д., Жукинський В.Н., Окснюк О.П. Методологические предпосылки для установления и использования экологических нормативов качества поверхностных вод // Гидробиол. журнал, Т. 35, № 3, 1999. – С. 3-14
12. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / [Романенко В. Д., Жукинський В. М., Окснюк О. П. та ін. ] — К. : Символ–Т, 1998. – 28 с
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [Електронний ресурс]: проект/А.В.Гриценко, О.Г.Васенко, Г.А.Верніченко [та ін.] – Режим доступу: [http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/metodika\\_2012\\_14\\_0.doc](http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/metodika_2012_14_0.doc)
14. Рибалова О.В., Коробкова Г.В. Застосування методу Хольта-Уінтерса для прогнозування якісного стану поверхневих вод. Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С.201-202
15. Комплексні експедиційні дослідження екологічного стану водних об'єктів басейну р.Уди (суббасейну р.Сіверський Донець) / О.Г. Васенко, М.Л. Лунгу, Ю.А. Ільєвська, О.В. Климов та ін. /Під ред. О.Г. Васенко. – Х.: ВД «Райдер», 2006. – 156с
16. Рибалова О.В. Ітеративний підхід до управління якістю поверхневих вод. Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С.199 -201

# WORLD SCIENCE

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws)

*№ 1(41)*  
*Vol.1, January 2019*

MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC EDITION

Indexed by:



RS Global

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL



Academia.edu  
share research

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
LIBRARY.RU

Google  
scholar



BIBLIOTEKA  
NARODOWA



CiteFactor  
Academic Scientific Journals

Passed for printing 25.01.2019. Appearance 31.01.2019.

Typeface Times New Roman.

Circulation 300 copies.

RS Global Sp. z O.O., Warsaw, Poland, 2019